ASTRONOMÍA Y NAVEGACIÓN EN ESPAÑA

SIGLOS XVI-XVIII

Francisco José González

COLECCIONES MAPFRE 1492

La ciencia que más incidió en el perfeccionamiento de las técnicas de navegación en los albores de la Edad Moderna fue la astronomía. Los métodos ideados para fijar una determinada posición geográfica fueron trasladados con rapidez al cálculo de la situación de un barco en alta mar. El diseño del sextante y los métodos astronómicos estuvieron en la base de la llamada navegación astronómica. La evolución de la náutica en la España de la Edad Moderna estuvo ligada a la situación política y económica del Estado. La organización estatal moderna impulsada por los Reyes Católicos coincidió con la etapa de los grandes viajes de descubrimiento y exploración del nuevo continente y la aportación española al desarrollo de las técnicas de navegación. La profunda crisis del siglo XVII supuso el estancamiento de la ciencia. La dinastía borbónica concede gran importancia al control de los dominios ultramarinos y apoya la introducción de la navegación astronómica. La batalla de Trafalgar y la Guerra de la Independencia marcaron el hundimiento de la Marina. Francisco José González nos presenta un completo estudio de la náutica en la España de los siglos XVI al XVIII.

Francisco José González (Ronda - Málaga, 1960). Doctor en Historia. Bibliotecario del Real Observatorio de la Armada en San Fernando. Obras: *El Archivo Histórico del Real Observatorio de la Armada* (1988), «La investigación científica en la Marina del siglo XIX» en *Cádiz en su Historia* (1988), *El observatorio de San Fernando (1831-1924)* (en prensa).



Colección Mar y América

ASTRONOMÍA Y NAVEGACIÓN EN ESPAÑA. SIGLOS XVI-XVIII

Director coordinador: José Andrés-Gallego
Director de Colección: Fernando de Bordejé
Diseño de cubierta: José Crespo

Paseo de Recoletos, 25 - 28004 Madrid
ISBN: 84-7100-287-6
Depósito legal: M. 12759-1992
Impreso en los talleres de Mateu Cromo Artes Gráficas, S. A.
Carretera de Pinto a Fuenlabrada, s/n, Km. 20,800 (Madrid)
Impreso en España-Printed in Spain

FRANCISCO JOSÉ GONZÁLEZ GONZÁLEZ

ASTRONOMÍA Y NAVEGACIÓN EN ESPAÑA. SIGLOS XVI-XVIII



EDITORIAL
MAPFRE

Sólo ellos tenían la base científica necesaria para internarse en el Océano, perdiendo de vista, durante meses, la tierra del Antiguo Continente

Juan Vernet (1977)



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

Durante la Baja Edad Media se inició en Europa un proceso de modificaciones del sistema económico caracterizado por la reactivación de las ciudades, de la industria y de las actividades comerciales. Este proceso puede ser considerado como un antecedente de los profundos cambios que tendrían lugar durante los siglos XVI y XVII. A lo largo de estos siglos se pusieron las bases de una nueva mentalidad y de la ciencia moderna en un movimiento que estuvo acompañado, entre otras cosas, por la sustitución de la antigua economía de subsistencia y por el aumento de la importancia social y económica de artistas, artesanos y técnicos.

El descubrimiento de América y la organización de largas navegaciones incidieron directamente en una mayor valoración de la práctica y de la observación, y contribuyeron al aumento de la importancia de las técnicas de navegación y de construcción naval. Todo ello, dada la rápida sucesión de los acontecimientos, comenzó a desbordar las viejas teorías científicas, especialmente en el campo de la astronomía y de la mecánica. El enfrentamiento entre el aristotelismo medieval preponderante y los principios de la nueva ciencia constituyó el núcleo básico de los cambios llevados a cabo durante esta época. Las ideas favorables a la observación, la experimentación, la separación entre ciencia y magia, o la utilidad de la ciencia aplicada encontraron en el desarrollo de la navegación transoceánica uno de sus principales apoyos prácticos.

La Antigüedad y la Edad Media habían fomentado una mentalidad en la que las artes mecánicas, es decir, las técnicas, no estaban bien vistas y eran consideradas negativamente. Sin embargo, el desarrollo del

arte de navegar como una técnica bien estructurada y basada en principios más o menos científicos dio lugar, sobre todo después del descubrimiento de América, a un importante cambio en la valoración de la técnica por la sociedad del siglo XVI. El desarrollo de la revolución científica, que acabaría con el sistema aristotélico en el que se había basado la ciencia medieval, no hizo más que aumentar la conciencia de la superioridad de las nuevas ideas y de las nuevas técnicas, sobre todo lo antecedente. La aparición de numerosas novedades, sobre las que los renacentistas no podían encontrar ninguna referencia en los clásicos, no hizo más que acelerar este proceso. De esta forma, el hombre del siglo XVI aparecía superior a las autoridades clásicas, pues había sido capaz de conocer cosas ignoradas en la Antigüedad. No cabe duda, por lo tanto, que, como ha afirmado el profesor López Piñero en alguna ocasión, el desarrollo técnico que posibilitó el descubrimiento de América fue utilizado por algunos autores de la época como una de las pruebas más importantes de la superioridad de los europeos del Renacimiento sobre sus modelos clásicos de la Antigüedad [1].

La importancia de esta idea quedaría subrayada cuando, con el paso del tiempo, el conocimiento de las realidades americanas y los problemas prácticos planteados por su exploración y explotación aumentasen considerablemente la conciencia de superioridad respecto a los antiguos por parte de unos hombres que, además de enfrentarse al conocimiento de hechos y lugares antes ignorados, tuvieron que proceder a la recogida y estructuración de todas estas nuevas experiencias.

La realidad del progreso realizado respecto al período medieval estuvo siempre en la mente de los españoles del siglo XVI, especialmente de los navegantes. La importancia de los navegantes en un país que había multiplicado sus posesiones gracias al desarrollo de la navegación transoceánica fue muy grande. Como veremos a lo largo de este libro, y siguiendo la evolución general del resto de las ciencias y de las técnicas, el arte de navegar alcanzó un importante nivel durante los dos primeros tercios del siglo XVI. Los navegantes españoles eran, con los portugueses, los más experimentados de toda Europa y los libros de náutica escritos en España eran codiciados por los marinos extranjeros,

[1] Véase J. M.ª López Piñero, *El arte de navegar en la España del Renacimiento*, Barcelona, 1986.

especialmente por ingleses y franceses, que desde un primer momento intentaron ponerse a la altura de los navegantes peninsulares.

Sin embargo, el aislacionismo propio del reinado de Felipe II y el anquilosamiento de los dinámicos conocimientos surgidos después del descubrimiento produjeron una rápida decadencia de la práctica náutica. Durante el siglo XVI las instituciones náuticas y los cargos de la administración relacionados con la navegación entraron en un largo período de letargo, paralelo al sufrido por toda la actividad científica española. Los españoles, que habían divulgado en Europa la idea del progreso y de la superioridad de lo moderno sobre lo antiguo, quedaron de pronto anticuados. Sólo a fines del siglo XVII, el movimiento renovador del que hablaremos más adelante se atrevería a denunciar el atraso existente y a plantear a la comunidad científica la terrible realidad: los españoles habían pasado, en el curso de un siglo, de ser los impulsores de las ciencias y las técnicas a luchar por situarse al nivel alcanzado por el resto de los europeos.

No obstante, la política ilustrada puesta en marcha por la nueva dinastía borbónica durante el siglo XVIII, trajo consigo importantes consecuencias para el desarrollo de la náutica. Uno de los pilares básicos de la reorganización de la administración deseada por los gobiernos ilustrados era el control del tráfico marítimo y de las comunicaciones con los territorios de ultramar. Para ello se hizo necesaria una profunda reforma de la Marina, que iría acompañada de la creación de una Academia de Guardias Marinas dirigida a la formación de la oficialidad que debería estar al mando de esta nueva Armada.

El reinado de Carlos III tuvo mucho que ver con el auge registrado en España por las cuestiones náuticas y astronómicas durante la segunda mitad del siglo XVIII. Los reinados de sus antecesores habían puesto las bases para que se pudiese producir este desarrollo, situando de nuevo a España como una potencia naval de primer orden y fomentando las instituciones y las actividades científicas relacionadas con la navegación. La necesidad de garantizar la seguridad del tráfico marítimo y la defensa del continuo hostigamiento por parte de buques de nacionalidad inglesa y francesa impulsaron una mejora de la formación científica de los oficiales. Gracias a ello, los últimos años del XVIII estuvieron caracterizados por una serie de importantes aportaciones de los españoles en cuestiones relacionadas con la navegación. Bastaría con citar los trabajos del Observatorio Real de Cádiz, las campañas hi-

drográficas de Tofiño, las numerosas expediciones realizadas a las costas menos conocidas de la Corona, la publicación del primer Almanaque Náutico. Pero, de todo ello, trataremos con detenimiento un poco más adelante.

Nuestra intención ha sido presentar un trabajo claro y comprensible sobre la evolución de la náutica española en la Edad Moderna. Para ello, hemos dividido la materia tratada en tres partes que se corresponden, cada una de ellas, con los siglos que abarca el mencionado período histórico. El esquema de presentación utilizado es bastante parecido en estas tres divisiones. En primer lugar, hemos pretendido hacer un acercamiento al estado de la ciencia española en general y de la astronomía en particular, para pasar, más adelante, al análisis de las cuestiones directamente relacionadas con la náutica (instituciones, técnicas, instrumentos) y al comentario de las principales obras sobre náutica publicadas en el período estudiado. La parte dedicada al siglo XVIII alcanza una mayor extensión, debido al notable desarrollo adquirido por la Marina española en esa centuria. Ello ha dado lugar a la inclusión de unos capítulos sobre la evolución de las ciencias náuticas y las relaciones entre la Marina y la ciencia, a través de los cuales se puede seguir el proceso de divulgación de las técnicas de navegación astronómica entre los navegantes españoles.



PRIMERA PARTE

LA NÁUTICA EN LA ESPAÑA DEL RENACIMIENTO



I

LAS ACTIVIDADES CIENTÍFICAS EN LA ESPAÑA DE LA ÉPOCA

Durante el siglo XVI español pueden ser constatados los primeros movimientos de oposición a la cultura imperante de origen clásico. A lo largo de la centuria, esta oposición a lo establecido en lo que se refiere al cultivo de las ciencias fue atravesando diversos estadios, que fueron pasando de la aportación de nuevos datos de difícil interpretación por los métodos tradicionales hasta algunas correcciones a las teorías establecidas y determinadas renovaciones de fondo. No obstante, siguiendo al profesor López Piñero, podríamos afirmar que el enfrentamiento entre los esquemas tradicionales y la renovación científica no puede ser analizado desde el punto de vista erróneo y simplista que nos presenta a los humanistas como defensores del progreso y a sus oponentes como todo lo contrario [1].

La complejidad del momento histórico por el que atravesaba España en el siglo XVI debe ser tenida en cuenta a la hora de estudiar las relaciones entre los intentos de renovación científica y las dos grandes corrientes intelectuales imperantes en aquellos años. Por un lado, habría que destacar el papel de la corriente escolasticista, procedente de la recuperación de los saberes griegos e islámicos realizada en la Baja Edad Media gracias a las traducciones del árabe. A esta corriente, que podríamos llamar tradicional, se añadió durante el Renacimiento el llamado movimiento humanista, caracterizado por la recuperación de los conocimientos adquiridos en la Antigüedad mediante el estudio y la

[1] J. M.ª López Piñero, *Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII*, Barcelona, 1979, p. 149.

traducción directa de los textos originales. En ambas corrientes pueden encontrarse características favorables y opuestas al desarrollo de un movimiento de renovación científica. Si bien es cierto que el escolasticismo limitaba el trabajo intelectual a la interpretación de los textos, no lo es menos que los intentos humanistas por la búsqueda de las fuentes originales contribuyeron, en muchos casos, al reforzamiento del criterio de autoridad de los clásicos, consecuencia totalmente opuesta a cualquier iniciativa de renovación. Sin embargo, analizando el problema desde otro punto de vista, parece evidente que ambas corrientes presentaban algunos aspectos favorables a la renovación de la tradición científica antigua, como por ejemplo las características propias del movimiento nominalista dentro del propio escolasticismo (empirismo, voluntarismo, criticismo, escepticismo), o la crisis de los criterios de autoridad provocada por la comprobación de errores y contradicciones por parte de los humanistas.

De todas formas, las soluciones prácticas precisadas por la nueva sociedad, además de contribuir al aumento de la importancia de los trabajos técnicos, necesitaron ser sustentadas sobre concepciones científicas nuevas. La exigencia de práctica y observación comenzó a desbordar rápidamente las viejas teorías científicas, sobre todo en el campo de la astronomía. La lucha entre el aristotelismo medieval todavía vigente y los principios de la nueva ciencia constituyó el núcleo básico de los cambios llevados a cabo en este período. Factores como la observación, la experimentación o la utilidad de la ciencia, que sólo habían sido defendidos tímidamente en épocas anteriores, mostraron entonces verdadera pujanza, favorecidos, además, por las ideas defendidas por el movimiento humanista.

En España, durante la primera parte del siglo XVI, se produjo una coexistencia de ambas mentalidades. Personajes como Elio Antonio de Nebrija (1441-1522) contribuyeron decididamente al impulso de la incorporación de los supuestos humanistas en las universidades y en las obras de otros autores, aunque las tendencias escolásticas bajomedievales continuaron teniendo una gran influencia en las actividades culturales y científicas españolas. Cuando, a mediados del siglo, los postulados humanísticos fueron perdiendo su vigor inicial, la crisis de la década de 1550-1560 y las condiciones socioeconómicas españolas favorecieron el triunfo del movimiento contrarreformista. La más importante consecuencia registrada en el desarrollo de las actividades cientí-

ficas fue una nueva formulación de la ciencia tradicional, que marginó los elementos renovadores aportados por el escolasticismo, el humanismo y el auge de las actividades técnicas [2].

Sin embargo, no podemos olvidar la incidencia del desarrollo de las técnicas y del descubrimiento de América en una nueva forma de entender el progreso y la tradición científica de origen clásico. Durante la Baja Edad Media se había iniciado un proceso de modificaciones del sistema económico, acompañado por un importante florecimiento de las ciudades, de la industria y del comercio. Estos fenómenos, que pueden ser situados en el origen de los cambios registrados en el Renacimiento, influyeron decisivamente en la evolución de la ciencia moderna, que puso sus bases a partir de la publicación de la obra de Copérnico, *De revolutionibus orbium coelestium*, en 1543. No es nada fácil decidir cuál fue el principal factor de este proceso. Seguramente, lo más prudente sería señalar los diversos factores cuya presencia acompañó al desarrollo de la nueva ciencia, especialmente, como se dijo al principio, la sustitución de la antigua economía de subsistencia y el crecimiento de la importancia social de los artesanos, artistas, ingenieros y técnicos.

Parece evidente que durante el Renacimiento tuvo lugar un aumento considerable del prestigio social de las actividades técnicas. El descubrimiento de América y los éxitos conseguidos por las grandes navegaciones incidieron directamente en la divulgación de la idea de superioridad de lo moderno frente a lo antiguo y en el abandono de determinados criterios de autoridad, superados por la continua aportación de nuevos datos y conocimientos más completos. La inexistencia de soluciones en los clásicos para afrontar los retos surgidos a raíz de los problemas planteados por la existencia de tierras no conocidas por los antiguos dieron lugar a una incesante actividad por parte de naturalistas, médicos, navegantes e ingenieros, cuyas aportaciones originales sustituyeron a las incompletas autoridades de la Antigüedad.

El estudio de asuntos desconocidos en el pasado no fue la única forma en la que se procedió a la sustitución de los principios de autoridad de los clásicos por la experiencia directa de los científicos. La discusión de las autoridades se produjo también mediante rectificacio-

[2] J. M.ª López Piñero, *La ciencia en la historia hispánica*, Barcelona, 1982, p. 22.

nes y críticas, en diverso grado, a lo establecido por las teorías tradicionales. En este caso, la contestación a dichas teorías fue desde la mera aportación de nuevos datos, hasta la ruptura total con los esquemas tradicionales que caracterizó a algunos movimientos renovadores de aquellos años (reforma vesaliana, copernicanismo).

Como ya hemos dicho, los escasos resultados obtenidos, en lo que se refiere a los avances científicos, por medio del movimiento humanista, dieron lugar a una crisis en esta corriente intelectual. Ante esta situación, mientras en otros países europeos se desarrollaba un nuevo proceso renovador como consecuencia de la incidencia de la positiva evolución de las tendencias extra-académicas y de las técnicas, España se convirtió en el baluarte del contrarreformismo que, en su oposición a la Reforma protestante, acabó con cualquier intento de renovación en las actividades científicas. De esta forma, la ciencia española, como el resto de los aspectos de la sociedad, comenzó a entrar en una fase de aislamiento respecto a la evolución científica del resto de Europa, aislamiento que sin lugar a dudas influyó en la negativa evolución de la ciencia y la técnica en la España del XVII.

Durante el siglo XVI, el fomento de estas actividades en España quedó a cargo de dos instituciones características del estado moderno que se estaba estructurando por aquel entonces: la Corona y los municipios. Bajo el poder municipal quedaban algunas atribuciones que indirectamente estaban relacionadas con el desarrollo de la ciencia y de la técnica. Nos referimos a las cuestiones relacionadas con la enseñanza primaria y algunas universidades de carácter municipal; la sanidad y los hospitales; la construcción de puentes, caminos y toda clase de obras públicas, especialmente las relacionadas con la ingeniería hidráulica; y, por último, el control de las organizaciones gremiales, de las que dependían algunas actividades que podríamos llamar industriales.

La acción de la monarquía se dejó notar en un mayor número de actividades científicas y técnicas. La formación del estado moderno en España influyó decisivamente en el desarrollo de la ciencia y de la técnica, gracias a una nueva política dirigida hacia temas tan diversos como el control de los problemas sanitarios, la unificación del sistema de pesos y medidas, la ejecución de obras públicas, el perfeccionamiento del ejército y el desarrollo de todo tipo de aspectos técnicos relacionados con el fomento de las actividades económicas. Las principales acciones emprendidas por la Corona, cuya incidencia se dejó notar en

la ciencia, fueron, entre otras, el fomento de la descripción geográfica del territorio del Estado, la descripción sistemática de América, el estudio de la navegación, la cartografía y la construcción naval y, por último, la reglamentación y control de la impresión y venta de libros.

De todas formas, no se puede olvidar que, a pesar del aumento del poder de la monarquía y de los municipios, la estructura de la sociedad española seguía siendo de carácter medieval. Ello explica la importancia que tuvo la Iglesia en el sostenimiento de las corrientes tradicionales dentro de la ciencia. El control ejercido por los religiosos sobre una gran parte de las universidades y colegios, además de la acción de la Inquisición en todo lo relacionado con las publicaciones, contribuyeron a que la ciencia no quedase al margen de la acción eclesiástica favorable a la tradición. Ello ha dado lugar a que algún autor afirme que, en la España del siglo XVI, la secularización del cultivo de la ciencia sólo se produjo de una manera parcial, siendo detenido el proceso a consecuencia de la política contrarreformista [3].

[3] J. M.ª López Piñero, *Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII*, Barcelona, 1979, p. 95.



II

LA ASTRONOMÍA DEL RENACIMIENTO

Los estudios realizados por diversos autores, como Millás Vallicrosa o Vernet, han demostrado la existencia de una importante tradición astronómica en la Península Ibérica a lo largo de toda la Edad Media [4]. Sería suficiente recordar los trabajos de la época de Azarquiel o de Alfonso X el Sabio. Durante los siglos XV y XVI, España siguió manteniendo un importante lugar en la astronomía práctica de origen medieval, que, aunque utilizaba instrumentos muy perfeccionados, todavía no había aplicado a éstos las amplificaciones ópticas. Las observaciones, la elaboración de tablas y la mejora de los instrumentos tuvieron aún importancia gracias a las aplicaciones astrológicas y náuticas de las mismas y a la reforma del calendario.

La transición del siglo XV al XVI estuvo caracterizada por la influencia de un personaje que actuó como enlace entre las nuevas tendencias renacentistas y la tradición medieval. Nos referimos, claro está, al judío salmantino Abraham Zacut, cuya obra más relevante fue el *Hibbur hagadol (El gran tratado).* Gracias a un resumen de esta obra, realizado por su discípulo portugués José Vizinho bajo el título de *Almanach perpetuum,* la obra de Zacut fue conocida en toda Europa, especialmente en Portugal donde tuvo lugar su primera edición (1496). Las principales aplicaciones de las tablas astronómicas en esta época eran las relacionadas con cuestiones astrológicas y cronológicas. Sin

[4] Sobre este tema pueden consultarse los diversos estudios de J. M. Millás y Juan Vernet, especialmente la obra de este último titulada *Historia de la ciencia española,* que recoge una interesante panorámica de la evolución histórica de la ciencia española.

Almanach perpetuuz exactissime nuper emēdatū omniū celi motuum cum additionib⁹ in eo factis tenens complementum.

Cum Gratia et Privilegio.

Figura 1. Portada de las tablas astronómicas de Abraham Zacut (Venecia, 1502).

embargo, las tablas de Zacut deben su importancia histórica a la decisiva influencia que ejercieron sobre la introducción de las observaciones astronómicas en la práctica de la navegación. Otro de los autores de tablas astronómicas que habría que citar al tratar de este asunto es Alfonso de Córdoba, que publicó en 1503 unas *Tabulae astronomicae* bastante difundidas y comentó algunas ediciones de las tablas de Alfonso X el Sabio y de Abraham Zacut.

Entre los tratadistas españoles dedicados a cuestiones relacionadas con los instrumentos de observación podrían ser citados Juan Martín Población, con su *De usu astrolabi* (1526), Francisco Zarzoso, autor de un libro sobre el *ecuatorio planetario* y Juan de Rojas Sarmiento, cuya obra titulada *Comentariorum in astrolabium quod planisphaerium vocant* (1500) fue comentada y resumida en diversas ocasiones.

Las bases teóricas de la astronomía práctica de la España renacentista, tenían su origen en la cosmología tradicional de origen aristotéli-

co. La cosmografía implícita en la mayor parte de los textos publicados en aquellos años era normalmente una versión del sistema ptolemaico presentado en el *Tractatu de sphera,* escrito en el siglo XIII por Joannes de Sacrobosco. Este texto presentaba de forma clara y comprensible una simplificación del sistema geocéntrico ptolemaico y de la filosofía natural aristotélica. Fueron diversas las obras que incluyeron una traducción o resumen de la «esfera» de Sacrobosco, especialmente los tratados del arte de navegar, que siempre comenzaban con un capítulo introductorio sobre temas cosmográficos. Por otro lado, podríamos destacar las obras de Jerónimo Girava, *Dos libros de cosmographia* (1556), de Pedro de Medina, *Libro de cosmographia* (1538), *Coloquio de cosmographia* (1543) y *Suma de cosmographia* (1550 y 1561), o de Pedro Pérez de Mesa, *Comentarios de sphera* (1596). En todas ellas se presentaba una visión cosmográfica teórica que no se desviaba de los supuestos tradicionales ptolemaicos.

Como acabamos de ver, la cosmología tradicional se mantuvo sin fisuras en la España del siglo XVI. Las únicas críticas a dicho sistema vinieron dadas por las observaciones de Jerónimo Muñoz sobre las características de la nova de 1572 y por la favorable acogida dispensada al sistema heliocéntrico propuesto por Nicolás Copérnico en su obra *De revolutionibus orbium coelestium* (1543). Las observaciones de Muñoz, que llamó cometa a la nova de 1572, demostraron que en el mundo celeste se producían cambios, en contra de lo que hasta entonces habían mantenido las teorías tradicionales, que presentaban un universo esférico dividido en dos partes: el mundo sublunar, corruptible y cambiable, y el mundo celeste, inmutable e incorruptible. Los resultados que Muñoz extrajo de las observaciones del nuevo astro le obligaron a considerar la posibilidad de que éste perteneciese al mundo celeste, que de esta forma dejaba de ser inmutable. Estos datos, y su obra *Libro del nuevo cometa* (1573), tuvieron una rápida divulgación entre los astrónomos europeos de su época, llegando a ser reproducida por Tycho Brahe en su obra titulada *Astronomiae instauratae* (1598).

Respecto a la aceptación del sistema heliocéntrico copernicano, se podrían añadir aquí algunas líneas. Parece ser que, mientras en toda la Europa católica y protestante se producía un rechazo generalizado a la propuesta de Copérnico, solamente en España y en Inglaterra se prestó un cierto interés a estas nuevas teorías. Por un lado, aunque recientes investigaciones han demostrado que el sistema copernicano no llegó a

ser enseñado en Salamanca, lo cierto es que esta universidad fue la única de toda Europa que incluyó en sus Constituciones la posibilidad de llevar a cabo la enseñanza del sistema propuesto por Copérnico. De todas formas, la obra de Copérnico fue utilizada por algunos autores españoles en su vertiente de técnica matemática. A este respecto, no habría que olvidar que en los ambientes cercanos a la Casa de la Contratación de Sevilla fue bastante corriente la utilización de cálculos y tablas basadas en los resultados obtenidos por Copérnico en los tratados de navegación, por ejemplo el *Compendio de la arte de navegar*, publicado por Rodrigo de Zamorano en 1581, y el *Regimiento de navegación* de Andrés García de Céspedes (1606).

III

EL ARTE DE NAVEGAR

Las navegaciones portuguesas en los siglos xiv y xv

A principios del siglo xv podía hacerse una clara distinción entre las formas de navegar propias de los distintos mares que rodean Europa. En el norte, donde la plataforma continental ocupa una amplia superficie, los pilotos navegaban sin cartas náuticas y determinaban su rumbo con la ayuda de las sondas y el conocimiento de las mareas. Este tipo de navegación tenía su origen en la que había sido desarrollada por los vikingos, que llevaron a cabo largos viajes por mar, basándose en la vista de las costas. En el Mediterráneo, sin embargo, los métodos de navegación habían sido tradicionalmente más avanzados. La utilización de derroteros o portulanos y el empleo generalizado de la aguja imantada, instalada sobre la rosa de los vientos, significaron un vuelco en la historia de la navegación y podrían ser consideradas como algunas de las aportaciones más importantes hechas al progreso de las técnicas náuticas. No obstante, tanto los instrumentos como los conocimientos cosmográficos de estos primeros navegantes dejaban todavía mucho que desear. Seguramente ésta fue la causa de que este tipo de navegación no registrase cambios sustanciales durante bastante tiempo. A lo largo del siglo xiv, cuando ya los portugueses comenzaron a utilizar con asiduidad los nuevos métodos de navegación basados en observaciones astronómicas, los marinos del Mediterráneo se valían todavía del sistema de navegación a la estima con cartas que no señalaban los grados de latitud. Los pilotos de los mares del norte de Europa comenzaron a utilizar entonces la aguja magnética, la rosa de los vientos y las cartas en las que iban trazadas las líneas de los vientos.

En Portugal, por su situación en el extremo sur de la Europa atlántica, barcos y métodos de navegación registraron un importante desarrollo gracias a su proximidad con el Mediterráneo, de donde llegaron a los marinos portugueses los importantes avances conseguidos a fines de la Edad Media. Tras la toma de Ceuta en 1415 y el descubrimiento de Madeira, dio comienzo un período de exploraciones portuguesas a lo largo de la costa africana, cuyos hitos más importantes fueron el establecimiento en las Azores (1427) y el paso del cabo Bojador (1437). El hecho de que las islas, situadas mar adentro, fueran descubiertas antes de la llegada de las naves al cabo Bojador, indica que las primeras expediciones enviadas con tal objetivo se encontraron con la tremenda dificultad que suponía volver por la costa africana, expuestas a los caprichos de las brisas costeras y con un litoral sahariano desolado, que no permitía el aprovisionamiento de agua y víveres [5].

Las exploraciones de las costas del sur de África estuvieron caracterizadas por los serios problemas planteados por la búsqueda de una ruta de regreso. Pasado el Ecuador, la estrella Polar dejaba de ser vista e impedía la orientación de las naves, problema que permaneció vigente hasta que los navegantes se familiarizaron con el cielo austral y localizaron la Cruz del Sur. Además, los vientos dominantes empujaban hacia la costa, lo que obligaba a navegar contra corriente en la singladura hacia el norte. Sólo unos años más tarde, los marinos portugueses conseguirían perfeccionar la ruta conocida como «volta da Mina», consistente en internarse en el océano desde el golfo de Guinea hasta navegar a favor de los vientos alisios del sur y de la corriente ecuatorial, impulso que les permitía llegar con cierta facilidad a la latitud de las Azores, desde donde el viaje hacia Portugal era ya bastante conocido. Además, los marinos portugueses no tenían otra alternativa que navegar en alta mar durante días sin ver la tierra, ni poder efectuar sondas. Las Azores y los vientos que se encontraban siempre a la vuelta eran sus únicos puntos de referencia.

[5] Sobre las primeras navegaciones portuguesas, véase J. Bensaude, *L'astronomie nautique au Portugal à l'époque des grandes découvertes*, Berna, 1912; L. Pereira da Silva, *A astronomia de Os Lusíadas*, Lisboa, 1972; A. Teixeira da Mota, «Le prince Henri de Portugal et le progrès de la cartographie marine»: *Revue Hydrographique Internationale*, 39, 1, 1962), pp. 29-38.

Con la extensión del uso de las carabelas se dio un gran paso hacia el éxito de las navegaciones de larga duración. Se trataba de un tipo de barco acondicionado para resistir la agitación del océano, con capacidad de carga y, a la vez, fácil de maniobrar. La carabela tomó de la tradición atlántica la solidez y su escasa tripulación, mientras que montaba velas triangulares en dos o tres mástiles, según lo acostumbrado en el Mediterráneo. Un piloto con experiencia podía conseguir largas singladuras con este tipo de buque, a pesar del escaso instrumental náutico del que disponían los marinos de la época.

Durante el siglo xv entró en práctica un nuevo método de navegación basado en la observación de los astros. Se trata del método para el cálculo de la latitud mediante la observación de la diferencia de alturas. Para ello, el navegante debía observar la estrella Polar, el Sol y algunas otras estrellas. El sistema utilizado consistía en observar con un cuadrante, antes de iniciarse la travesía, la altura de la estrella Polar en una determinada posición en la esfera celeste, o bien la altura de una estrella a su paso por el meridiano. Durante el viaje, se volvía a tomar la altura de la misma estrella en idénticas circunstancias, y con ello se conseguía conocer la variación en grados de dicha altura entre los dos lugares de observación. Obtenido este valor y transformado en leguas, se podía saber la distancia que se había avanzado hacia el sur o hacia el norte. El Sol era utilizado también tomando su altura meridiana cada día y comparando el resultado de la observación con las alturas reflejadas en un juego de tablas, especialmente calculadas para dar la altura del Sol al meridiano de los diferentes puertos a lo largo de todo un año.

La introducción en los navíos de los métodos de cálculo de la latitud utilizados en tierra por los astrónomos fue bastante difícil. Los instrumentos náuticos de los pilotos europeos eran muy rudimentarios, y éstos no estaban bien preparados para efectuar los cálculos necesarios con la suficiente precisión. Los marinos lusitanos fueron pioneros en el estudio de cursos elementales de astronomía, además de ser los promotores de una importante simplificación de los instrumentos náuticos y de las tablas de declinación solar. De esta forma, los portugueses pusieron a disposición del resto de los navegantes unos conocimientos astronómicos que hasta entonces habían sido propiedad exclusiva de un pequeño número de estudiosos. Gracias a ellos la navegación mediante la observación de los astros fue adoptada en Occidente y, a par-

tir de entonces, los progresos en las técnicas de navegación fueron constantes, debido sobre todo a los más frecuentes contactos entre los astrónomos y los navegantes.

Los fundamentos de esta navegación astronómica inicial pueden encontrarse en una serie de manuscritos portugueses, conocidos con el nombre de «regimentos». Durante el siglo XVI sería muy grande la influencia de estos trabajos en todos los países atlánticos, especialmente en España, donde durante ese siglo se llevó a cabo la publicación de los más importantes tratados de navegación.

Fue el infante don Enrique, tercer hijo de Juan I de Portugal, el principal impulsor de las famosas navegaciones oceánicas, cuya continuidad, a lo largo de los siglos XV y XVI, dieron a Portugal y a España la posibilidad de extender sus dominios por todo el planeta. Su apoyo a los navegantes, luchando contra la indiferencia de la nobleza, llevó a éstos a comenzar una serie de navegaciones hacia el sur del océano Atlántico, a lo largo de las costas africanas, que pronto superarían los confines conocidos hasta entonces.

Desde su participación en la conquista de Ceuta, don Enrique mostró gran interés por la exploración de las costas africanas y las islas atlánticas. A lo largo de su vida obtuvo por concesión real los señoríos de las Madeira, las Azores y Cabo Verde, además de una serie de derechos sobre la exploración y la pesca en la costa africana. Fue persona de gran dinamismo, pero conservó la mentalidad de un noble de su tiempo, llegando a acumular casi tantas riquezas como el propio rey de Portugal. Aunque su figura ha sido mitificada como hombre de ciencia, fundador de una escuela naval y mecenas de expertos en cuestiones náuticas, se puede afirmar que su papel histórico no fue tan ambicioso. Según Céspedes del Castillo, don Enrique dedicó su vida en Sagres a impulsar, organizar, financiar y extraer algún beneficio de la exploración de la costa africana y de la colonización de las Azores, Madeira y Cabo Verde [6].

La labor de don Enrique fue continuada por el rey Juan II, que constituyó en Lisboa una Junta de Matemáticos encargada de preparar los aspectos científicos de las grandes navegaciones en alta mar. Para ello contó con la colaboración del judío salmantino Abraham Zacut,

[6] G. Céspedes del Castillo, *América hispánica* (1492-1898), Barcelona, 1982, p. 50.

autor del *Almanach perpetuum*, que sirvió de base para el cálculo de las tablas necesarias para determinar la latitud por medio de la observación de alturas meridianas del Sol. Estas tablas pasaron a formar parte de los ya citados «regimentos» náuticos que los pilotos portugueses llevaban en sus naves.

Los españoles y la navegación

Algunos autores han atribuido tradicionalmente un papel importante en este desarrollo de la astronomía náutica portuguesa al alemán Martín Behaim, discípulo de Regiomontano, que viajó a Lisboa en tiempos de Juan II. Aunque se le atribuyó la divulgación en Portugal del método para determinar la latitud por medio de la observación de la altura meridiana del Sol, parece ser que esto no se corresponde con la realidad, pues los regimientos ya citados siguen las tablas de Zacut y el método de las alturas meridianas de Sol puede encontrarse en los *Libros del saber de astronomía* de Alfonso X de Castilla. Puede decirse, por lo tanto, que el desarrollo de las primeras aplicaciones de la astronomía a la náutica fue obra de los habitantes de la Península Ibérica y que sus primeros resultados se vieron plasmados en los regimientos náuticos utilizados por los pilotos portugueses. Se trata de un desarrollo que resultó de la colaboración de Zacut con los miembros de la Junta de Matemáticos de Lisboa, especialmente con su discípulo José Vizinho, y de la aplicación práctica de las teorías de tradición griega y árabe contenidas en la obra astronómica de Alfonso X el Sabio.

Como se ha visto con anterioridad, durante el siglo xv los portugueses y los castellanos iniciaron un proceso de expansión de sus respectivos reinos que estuvo jalonado por hechos tan significativos como la ocupación del archipiélago canario por Castilla (1402), la conquista de Ceuta por Portugal (1415), la exploración portuguesa de las costas africanas situadas al sur del cabo Bojador, o la utilización de la ruta de regreso desde el golfo de Guinea por alta mar (1475). La extensión de los conocimientos necesarios para navegar siguiendo métodos basados en la astronomía, llevaron a las monarquías peninsulares a promocionar la organización de grandes navegaciones de descubrimiento y exploración, cuyo principal objetivo era el de establecer un contacto ma-

Tabula Solis tertia 3 ☉

Annus a salutigero 1475

Dies mensis	Martius			Aprilis			Maius			Junius			Julius			Augustus		
	♓			♈			♉			♊			♋			♌		
	g	m	2	g	m	2	g	m	2	g	m	2	g	m	2	g	m	2
1	19	57	49	20	25	19	19	22	26	18	56	23	17	27	11	17	3	57
2	20	57	18	21	23	43	20	19	55	19	53	24	18	24	14	18	1	36
3	21	56	47	22	22	7	21	17	24	20	50	26	19	21	17	18	59	15
4	22	56	15	23	20	27	22	14	53	21	47	27	20	18	21	19	56	55
5	23	55	0	24	18	47	23	12	21	22	44	28	21	15	25	20	54	37
6	24	55	5	25	17	7	24	9	49	23	41	30	22	12	31	21	52	19
7	25	54	30	26	15	19	25	7	13	24	38	31	23	9	38	22	50	1
8	26	53	45	27	13	30	26	4	36	25	35	32	24	6	45	23	47	51
9	27	53	0	28	11	41	27	2	0	26	32	34	25	3	56	24	45	41
10	28	52	14	29	9	45	27	59	19	27	29	36	26	1	7	25	43	31
11	29	51	22	0 ♉	7	49	28	56	38	28	26	38	26	58	19	26	41	23
12	♈ 0	50	30	1	5	54	29	53	57	29	23	39	27	55	32	27	39	16
13	1	49	38	2	3	51	0 ♊	51	13	0 ♋	20	40	28	52	45	28	37	9
14	2	48	37	3	1	48	1	48	29	1	17	41	29	50	0	29	35	12
15	3	47	35	3	59	44	2	45	44	2	14	42	0 ♌	47	18	0 ♍	33	15
16	4	46	33	4	57	35	3	42	56	3	11	43	1	44	37	1	31	19
17	5	45	26	5	55	26	4	40	8	4	8	44	2	41	56	2	29	24
18	6	44	19	6	53	17	5	37	19	5	5	45	3	39	17	3	27	30
19	7	43	12	7	51	3	6	34	28	6	2	47	4	36	38	4	25	36
20	8	42	0	8	48	48	7	31	37	6	59	49	5	34	0	5	23	55
21	9	40	44	9	46	33	8	28	46	7	56	50	6	31	25	6	22	14
22	10	39	29	10	44	13	9	25	51	8	53	51	7	28	52	7	20	33
23	11	38	11	11	41	53	10	22	55	9	50	53	8	26	19	8	18	55
24	12	36	53	12	39	33	11	19	59	10	47	54	9	23	47	9	17	17
25	13	35	35	13	37	10	12	17	3	11	44	56	10	21	16	10	15	39
26	14	34	10	14	34	46	13	14	7	12	41	58	11	18	45	11	14	8
27	15	32	45	15	32	22	14	11	10	13	39	0	12	16	16	12	12	37
28	16	31	20	16	29	54	15	8	13	14	36	2	13	13	47	13	11	7
29	17	29	53	17	27	25	16	5	16	15	33	5	14	11	19	14	9	39
30	18	28	22	18	24	56	17	2	19	16	30	8	15	8	51	15	8	11
31	19	26	53	0	0	0	17	59	21	0	0	0	16	6	24	16	6	43

Figura 2. Tablas de Sol incluidas en el *Almanach perpetuum* de Abraham Zacut (Venecia, 1502).

rítimo entre Europa y el Lejano Oriente. Mientras los portugueses intentaban conseguir esta nueva ruta navegando alrededor de las costas de África, los castellanos apoyaron a Colón en el intento por una ruta, la del Oeste, más desconocida y difícil. De esta forma, Cristóbal Colón, intentando llegar al continente asiático mediante la navegación hacia el oeste, descubrió un nuevo mundo. Más adelante, Vasco de Gama llegaría a la India rodeando África por el sur y Magallanes iniciaría la proeza, terminada por Elcano, de circunnavegar por primera vez el planeta.

De todos es conocido que la astronomía de la España del Siglo XVI registró sus avances más importantes en relación directa con el desarrollo de alguna de sus aplicaciones. Éste sería el caso de la astrología, principal ocupación de una gran parte de los astrónomos, de la cronología, sobre todo debido a la reforma del calendario juliano, y del arte de navegar, del que trataremos a continuación con más detenimiento.

Después de los avances conseguidos a lo largo del siglo XV por españoles y portugueses, en lo que a técnicas de navegación se refiere, se inició como ya es sabido una etapa de grandes descubrimientos geográficos y, por lo tanto, de grandes navegaciones. La navegación en alta mar, que comenzó a generalizarse debido a la necesidad de mantener unas comunicaciones fluidas y constantes con los nuevos territorios descubiertos, provocó un rápido desarrollo de nuevas técnicas, que situaron al siglo XVI en el origen de lo que más tarde se vino en llamar navegación astronómica. En la época a la que nos referimos, los navegantes comenzaron a aplicar en sus singladuras unos conocimientos científicos básicos y a utilizar algunos instrumentos todavía muy simples. Sin embargo, con tan poca cosa, y fundamentándose en la utilización de la brújula y de las cartas marinas, los navegantes de la Península Ibérica pudieron recorrer en sus naves todo el planeta.

El uso de la brújula, conocida desde algún tiempo antes en el mar Mediterráneo, pasó a los marinos del sur de la Península y se sumó al empleo de barcos de tradición atlántica que facilitaban el viaje en un mar mucho más agitado que el Mediterráneo. De su forma tradicional, compuesta por una aguja de hierro imantada que flotaba en una vasija con líquido mediante un soporte, la brújula pasó a convertirse en una aguja con eje de giro, colocada sobre una rosa de los vientos en la que iban marcados los rumbos usados por los navegantes.

También fue importada del Mediterráneo, sobre todo de Mallorca, la costumbre de utilizar cartas o portulanos. La confección de cartografía fue una actividad que registró un gran desarrollo durante la Baja Edad Media, período en el que se puede constatar un enorme interés de la Corona de Aragón por la dotación de cartas náuticas a los barcos, llegándose a establecer la obligatoriedad de que todas las galeras estuviesen dotadas con al menos dos de ellas.

La navegación en alta mar con un cierto grado de seguridad exige la necesidad de proceder a la determinación de la posición geográfica de la nave con suficiente exactitud. Para ello hace falta calcular las coordenadas geográficas conocidas como longitud y latitud. El problema de la determinación de la longitud no tuvo una solución práctica hasta el siglo XVIII. La latitud, sin embargo, era más fácil de obtener. Teniendo en cuenta que el valor de la latitud de un lugar viene dado por la altura del polo celeste sobre el horizonte de ese lugar; astrónomos y navegantes se ejercitaban en su cálculo mediante la observación de las estrellas conocidas más cercanas al polo celeste: la estrella Polar en el hemisferio norte y la Cruz del Sur en el hemisferio sur. No obstante, estas observaciones sólo podían ser realizadas durante la noche, de ahí que se hiciera necesaria la utilización del método que obtenía el valor de la latitud mediante la medición de la altura meridiana del Sol. Para poder sacar todo el rendimiento posible a este método, astrónomos y navegantes se vieron obligados a mejorar y adaptar a los barcos los instrumentos de observación astronómica, además de preparar unas tablas de declinación solar manejables que pudiesen ser usadas con facilidad por los marinos.

Como ya se vio, el desarrollo de este proceso tuvo lugar principalmente en el Portugal del siglo XV, gracias a las actividades náuticas emprendidas al amparo del interés por la navegación mostrado por el infante don Enrique y el rey Juan II. La adaptación de unas tablas de declinación solar por Zacut y la redacción de los llamados «regimentos» dotaron a los barcos portugueses que se aventuraban a realizar viajes de exploración de los conocimientos científicos básicos para poder extraer algunos resultados fiables de las observaciones llevadas a cabo con cuadrantes, ballestillas y astrolabios simplificados.

El descubrimiento de América por Cristóbal Colón trajo como consecuencia directa un importante aumento de la participación de los españoles en el desarrollo de las técnicas de navegación. Colón y sus

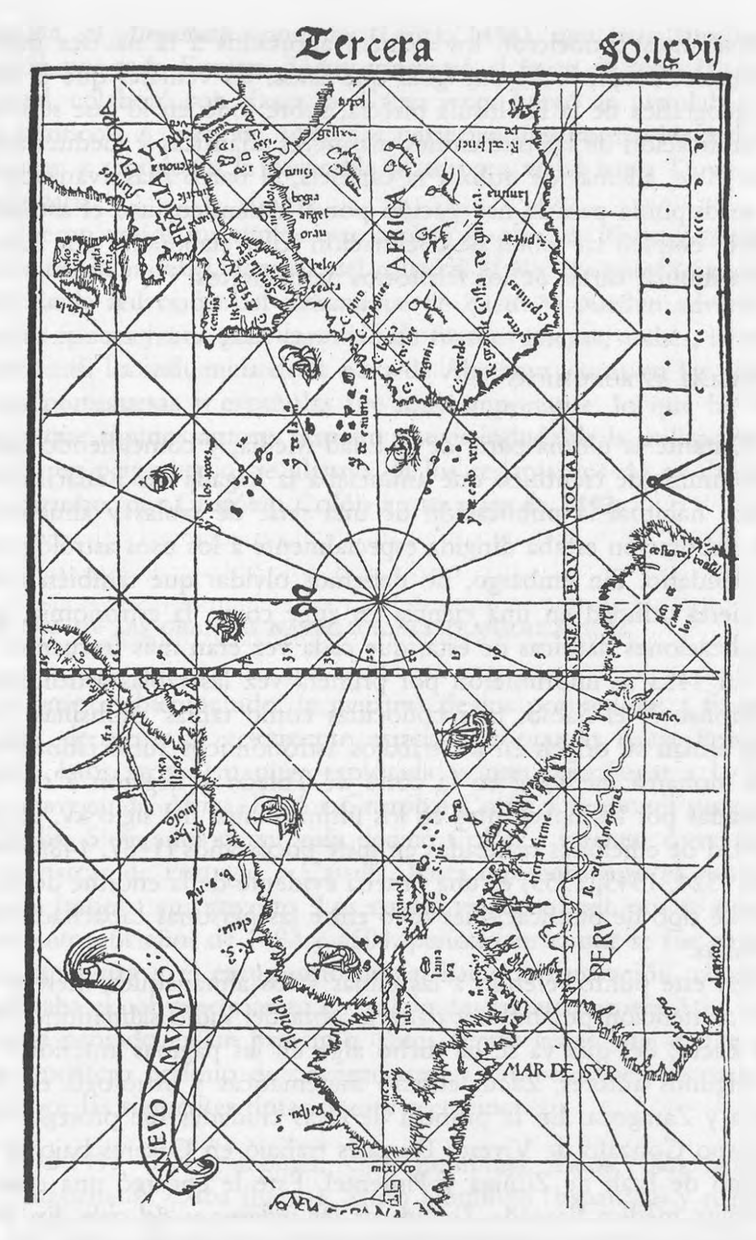


Figura 3. Carta del tratado de Martín Cortés en la que se representan las costas del océano, incluyendo las del Nuevo Mundo.

acompañantes conocieron los avances aportados a la náutica por los portugueses y aprovecharon, igual que éstos, las ventajas que la situación geográfica de la Península ofrecía, sobre todo en lo que se refiere a la unificación de las tradiciones marineras atlánticas y mediterráneas. En su viaje, además de utilizar la carabela, el barco más avanzado del que se disponía para la navegación por el Atlántico, usó el astrolabio náutico, empleó las tablas de declinación solar elaboradas por Zacut y llegó a dibujar cartas de los territorios descubiertos.

Las tablas astronómicas

Durante la última parte de la Edad Media, y coincidiendo con el nuevo ambiente científico que anunciaba la llegada del Renacimiento, se hizo habitual la publicación de una serie de tablas y almanaques cuya elaboración estaba dirigida especialmente a los usos astrológicos y de calendario. Sin embargo, no debemos olvidar que también tenían una cierta utilidad en una ciencia en auge como la astronomía, y en las aplicaciones náuticas de ésta, que cada vez eran más frecuentes.

En 1483 se imprimieron por primera vez las tablas astronómicas de Alfonso X el Sabio, más conocidas como tablas alfonsinas. Estas tablas tenían su origen en los trabajos astronómicos auspiciados por el sabio monarca medieval en la corte de Toledo y llegaron a ser muy solicitadas por los navegantes en los últimos años del siglo XV. La gran cantidad de ediciones realizadas en muy pocos años (1487, 1488, 1492, 1517, 1524, 1545, 1553) es una prueba evidente de la enorme demanda que este tipo de publicaciones tuvo entre las personas capacitadas para utilizarlas.

En este punto referido a las tablas y los almanaques, merece una especial atención por nuestra parte la obra del judío salmantino Abraham Zacut, del que ya se ha dicho algo en las páginas anteriores. Según algunos autores, Zacut enseñó matemáticas y astrología en Salamanca y Zaragoza. En la primera de estas ciudades fue protegido por el obispo Gonzalo de Vivero. Después trabajó en Cáceres bajo el mecenazgo de Juan de Zúñiga y Pimentel. Éste le encargó una obra de astrología médica llamada *Tratado de las influencias del cielo*. En 1492, tras decretarse la expulsión de los judíos, tuvo que refugiarse en Portugal. Fue en estos años cuando publicó por primera vez su obra más

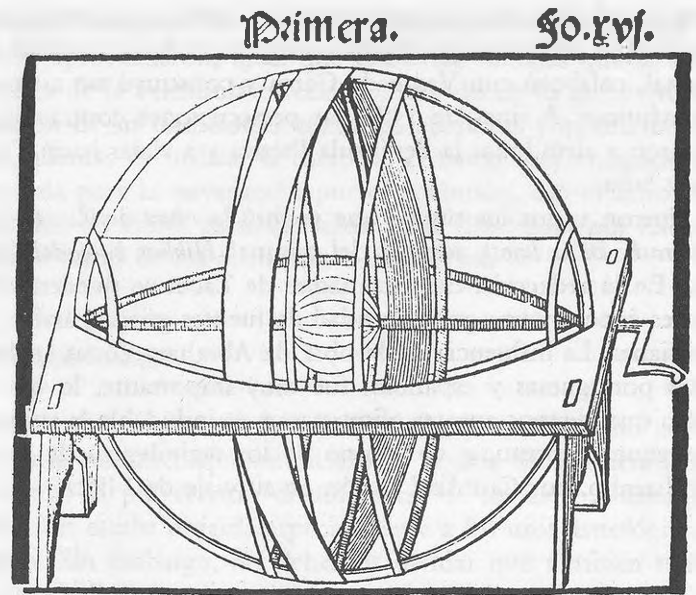
conocida, el *Almanach perpetuum* (Leiria, 1496), que tuvo una rápida difusión por toda Europa. Zacut consiguió el favor de Juan II, rey de Portugal, colaboró con Vasco de Gama y construyó un astrolabio para usos náuticos. A fines de 1496, las persecuciones contra los judíos le obligaron a abandonar la Península Ibérica y a viajar hacia Túnez, Turquía y Siria.

Fueron varios los títulos que recibió la obra de Zacut *(Almagesto, Almanach, Bi'ur lujot),* además del original *Hibbur ha-gadol (el gran tratado).* En la redacción del almanaque de Zacut se pueden advertir diferentes épocas y una gran cantidad de fuentes griegas, árabes, israelitas y cristianas. La influencia de la obra de Abraham Zacut en las navegaciones portuguesas y españolas fue muy importante, lo que ha dado lugar a que algunos autores afirmen que es indudable la utilización del almanaque perpetuo, o de alguno de los regimientos de su discípulo José Vizinho, por Cristóbal Colón en su viaje de 1492.

La época de las grandes navegaciones transoceánicas

Como es bien sabido, la negativa de los portugueses a financiar su idea de llegar al continente asiático navegando hacia Poniente, cuando éstos ya tenían muy explorada la ruta para llegar a la India circunnavegando África, llevó a Cristóbal Colón a proponer sus planes a Castilla. Siete años de su vida dedicó Colón a intentar convencer a los monarcas de Portugal y Castilla, hasta que consiguió el apoyo de la reina Isabel a su proyecto. Los cuatro viajes colombinos se desarrollaron entre los años de 1492 y 1504, período en el que se fue pasando de la esperanza y el entusiasmo inicial hacia la frustración, conforme aumentaba el convencimiento de que lo descubierto no era Asia, como se había pensado en un principio. Estos cuatro viajes, que darían paso a un fructífero período de navegaciones y exploraciones, se caracterizaron por las siguientes dotaciones y recorridos:

1. 1492-1493 (tres carabelas, cien hombres): Palos, San Salvador (Guanahaní), Cuba (Juana), Santo Domingo (Española) y regreso.
2. 1493-1496 (diecisiete carabelas, mil quinientos hombres, Cádiz, Española, Cuba, Jamaica, Española y regreso.



Diffini cion de sphera obliqua

Aquellos la tienen obliqua que moran desta parte o dela otra dela equinocial alos quales siempre vno delos polos esta sobre su orizonte: y el otro debaxo como aqui parece.

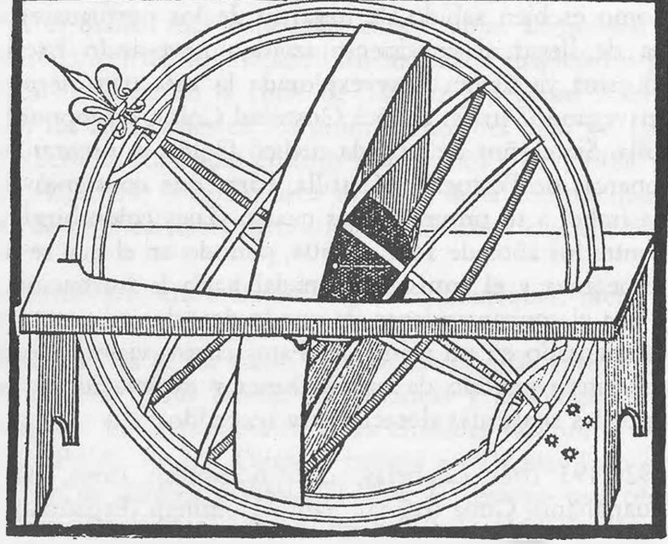


Figura 4. Esfera recta y esfera oblicua, según la obra de Martín Cortés.

3. 1498-1500 (seis carabelas): Salida de Sanlúcar de Barrameda y división en dos rutas, una hacia Española y otra hacia el Suroeste (Trinidad, desembocadura del Orinoco, Margarita).
4. 1502-1504 (cuatro carabelas): Cádiz, Centroamérica, Honduras, Panamá.

Entre las numerosas y diversas consecuencias derivadas del Descubrimiento, cabría reseñar en este libro aquellas que tuvieron alguna incidencia en los viajes y navegaciones emprendidos posteriormente. Por un lado, están las bulas alejandrinas y el Tratado de Tordesillas. Los Reyes Católicos encomendaron inmediatamente a su embajador en Roma que gestionase ante el papa Alejandro VI los privilegios de jurisdicción sobre las tierras descubiertas. Con ello pretendían impedir las interferencias portuguesas en las expediciones marítimas castellanas y los viajes marítimos incontrolados, realizados para poder aprovecharse de lo descubierto por los castellanos. De esta forma, los monarcas españoles consiguieron del papa en 1493 cuatro bulas (*Inter Coetera, Eximiae Devotionis, II Inter Coetera* y *Dudum Siquidem*) que reconocían el derecho de Castilla a navegar hacia el Oeste de Canarias y conquistar todas las tierras que hallaran, incluida Asia, y que no perteneciesen a otros príncipes cristianos. De todas formas, los portugueses no aceptaron la línea de demarcación estipulada en la bula *II Inter Coetera* (también llamada Bula de Partición), que señalaba como tal al meridiano situado a cien leguas hacia el Oeste de Cabo Verde y Azores, por lo que se hubo de proceder a establecer un replanteamiento de las relaciones entre Castilla y Portugal. Tras una serie de negociaciones, se llegó al acuerdo que permitió la firma del Tratado de Tordesillas (1494), en el que quedó ratificada la división territorial del mundo en dos hemisferios (el oriental-portugués y el occidental-castellano), separados por una línea de demarcación pasó a estar situada a 370 leguas al Oeste de las islas de Cabo Verde.

Otra de las consecuencias del Descubrimiento directamente relacionada con la navegación fue, sin duda alguna, el inicio de una serie de expediciones marítimas conocidas generalmente bajo el nombre de viajes andaluces. Según las licencias concedidas por los Reyes Católicos entre 1497 y 1503, fueron organizadas aproximadamente unas ochenta expediciones que, partiendo de la zona del golfo de Cádiz, se dirigieron sobre todo hacia la costa norte de América del Sur.

Entre 1499 y 1500 se llevaron a cabo algunos viajes importantes, caracterizados por la navegación por el litoral atlántico americano y por la escasa penetración tierra adentro.

1. En el primero de estos viajes participaron Alonso de Ojeda, Juan de la Cosa y Américo Vespucio. La expedición llegó a la altura de la desembocadura del río Orinoco, bordeando la costa y la península de Paria para llegar al cabo de la Vela.
2. En otro de estos viajes, Pedro Alonso Niño y Cristóbal Guerra recorrieron la costa norte de América del Sur, llegando hasta la isla de Margarita.
3. Vicente Yáñez Pinzón sería el organizador de la primera expedición marítima que atravesó el Ecuador en su exploración hacia el sur de la costa americana, llegando hasta el cabo de San Agustín, en lo que hoy es Brasil.

Durante los primeros años del siglo XVI se generalizaron los viajes y expediciones marítimas de exploración. Podrían ser mencionados aquí los nuevos viajes de Cristóbal Guerra, a la isla Margarita, de Alonso de Ojeda, a la costa de Venezuela, y la expedición de Rodrigo de Bastidas y Juan de la Cosa, que procedieron a explorar la costa americana llegando hasta la península de la Guajira.

Mientras tanto, ingleses y portugueses realizaron algunas incursiones, entre las que destacan el viaje de los hermanos Corte-Real (1498-1502), que buscaron un paso hacia la India por el Noroeste de América, y la expedición de Pedro Álvares Cabral, que llegó a Brasil en 1500 tras desviarse hacia Occidente en un viaje oficialmente dirigido hacia la India. Puede ser mencionado también el viaje bajo pabellón portugués de Américo Vespucio (1501-1504), que navegó por las costas atlánticas del sur de América hasta los 46° de latitud Sur, constatando así la sospecha de que las tierras descubiertas no pertenecían a Asia, sino que formaban parte de un nuevo continente.

Una vez aceptada la idea de la existencia de un nuevo continente, que se situaba como una barrera en el océano (entre los 60° de latitud Norte y los 40° de latitud Sur) impidiendo el paso hacia las costas asiáticas, dio comienzo una serie de viajes dirigidos a la búsqueda de un paso que permitiese llegar a la India navegando hacia Occidente. Por-

tugueses, ingleses y españoles navegaron en busca de un paso por el Noroeste, por centroamérica o por la zona austral. Dos de los momentos más importantes de estas iniciativas fueron el descubrimiento del océano Pacífico (el entonces llamado Mar del Sur) y la primera vuelta al mundo.

En 1513, después de atravesar el itsmo de Panamá con la ayuda de guías indígenas, Vasco Núñez de Balboa llegó a la costa del Pacífico a la altura del golfo de San Miguel. Quedaba así confirmada la continentalidad de América y la necesidad de buscar un paso marítimo hacia el océano recién descubierto.

Poco tiempo después aparecería en escena el portugués Fernando de Magallanes, con un proyecto que proponía la búsqueda de este paso hacia el Oeste navegando al sur del Río de la Plata. Al no encontrar el apoyo necesario por parte de la Corona de Portugal, se puso al servicio de España, donde sí fue aceptada su propuesta. La expedición, compuesta inicialmente por cinco navíos, partió de Sanlúcar de Barrameda en 1519, siguiendo este itinerario: Canarias, Cabo Verde, Río de Janeiro, Río de la Plata y Patagonia. Desde esta última región iniciaron la navegación por un estrecho de difícil navegación, el estrecho de Magallanes, que en 1520 les haría desembocar en el océano Pacífico. Navegaron después durante tres meses hasta avistar las islas de los Ladrones (Marianas) y San Lázaro (Filipinas), donde Magallanes encontró la muerte a manos de los indígenas. El español Juan Sebastián Elcano, capitán de la nao Victoria, se hizo cargo de la expedición y, tras hacer escala en las islas Molucas, las más productoras de especias, regresó a la Península Ibérica por el océano Índico. De esta forma, consiguió llegar a España en 1522, con un solo barco y 19 supervivientes, después de tres años y catorce días de navegación. Con ello se consumaba la primera vuelta al mundo, demostrándose definitivamente la teoría de la esfericidad de la Tierra y cumpliéndose el deseo de Cristóbal Colón de llegar a la India navegando hacia Poniente.

Sin embargo, esta ruta no podría ser utilizada con asiduidad por los marinos españoles, pues la navegación por la mitad de los mares atravesados en el viaje violaba el Tratado de Tordesillas. Comenzó, entonces, la búsqueda de una ruta que permitiese el regreso desde las Molucas hacia América a través del océano Pacífico (la «vuelta de Poniente»). Esto resultó bastante más difícil de lo esperado. Sin embargo, después de varios intentos que terminaron en fracaso, en 1567 quedó

establecida por Andrés de Urdaneta una ruta de ida y vuelta que unía Acapulco con las islas Filipinas.

Las rutas marítimas españolas en el siglo XVI

El descubrimiento de América y la regularización de las comunicaciones por mar entre la Península Ibérica y los nuevos territorios de la Corona de Castilla dieron lugar a una acusada crisis en los puertos de la cornisa cantábrica y de la Corona de Aragón. Los puertos cantábricos de Santander, Castro Urdiales, Laredo y Bilbao habían sido, desde el siglo XIV, el punto de partida y de llegada de las comunicaciones marítimas castellanas con el norte de Europa, especialmente con el puerto de Amberes. En el mar Mediterráneo, catalanes, valencianos y mallorquines, aunque también sufrieron una profunda crisis durante el siglo XVI, a causa de la monopolización de las transacciones comerciales por Sevilla, continuaron manteniendo sus tradicionales relaciones comerciales con los puertos italianos y franceses, y los habituales contactos con la Europa del Norte a través del estrecho de Gibraltar y de la marina cántabra.

Estos dos ejes marítimos tenían su confluencia en los puertos andaluces, donde se producía el intercambio de las mercancías procedentes de los países mediterráneos con las de el norte de Europa. Gracias al establecimiento de una ruta de navegación hacia las Indias occidentales, Sevilla y la región del golfo de Cádiz se convirtieron, además, en el terminal castellano del tráfico marítimo y comercial con América. Esta ruta de navegación quedaría establecida como tal a partir del segundo viaje de Cristóbal Colón. La derrota seguida en aquella ocasión entre Cádiz e Isabela (al norte de la isla Española), situada un poco más al Sur que la del primer viaje, estuvo vigente durante los dos siglos siguientes para las flotas mercantes y las armadas de guarda que hacían el viaje al nuevo mundo. Durante ese período, sólo se llevaron a cabo algunas modificaciones de carácter esporádico, con objeto de mantener el secreto del viaje, o como consecuencia de unas adversas condiciones meteorológicas.

Sevilla fue el puerto elegido punto de partida de las naves y como centro administrativo del entramado mercantil de la Carrera de Indias. La Casa de la Contratación apareció entonces como la institución ade-

cuada para organizar el tráfico marítimo hacia las Indias y proporcionar apoyo técnico a los navegantes que realizaban el viaje. La inexpugnabilidad del puerto fluvial sevillano, una de las principales bazas esgrimidas en favor del establecimiento en dicha ciudad de la Casa de la Contratación, fue pronto motivo de algunos problemas técnicos. Según aumentaba el volumen del tráfico marítimo, al compás de la expansión comercial española del siglo XVI, se fue haciendo cada vez más necesario el dragado del canal de navegación del río Guadalquivir, cuya escasa profundidad impedía el acceso a Sevilla de las naves con mayor calado. Cádiz, y su entorno geográfico (Rota, Puerto de Santa María y Sanlúcar), fue tomando importancia como un punto clave de la política orientada hacia la descongestión del tráfico naval en el río Guadalquivir. Ello daría lugar, como ya hemos visto, a una soterrada disputa entre ambas ciudades que se extendió a lo largo de toda la Edad Moderna, hasta que a principios de 1717 fuese ordenado el traslado a Cádiz de la Casa de la Contratación.

Una vez abandonadas las aguas del golfo de Cádiz, las naves que hacían la Carrera de Indias se dirigían hacia las islas Canarias, preferiblemente a los puertos de Santa Cruz de Tenerife, Santa Cruz de la Palma y San Sebastián de la Gomera, donde se aprovisionaban de víveres y agua, además de efectuar las reparaciones a que hubiese lugar. Desde las Canarias se iniciaba la navegación hacia Poniente, a lo largo de más de dos mil millas náuticas, que eran recorridas en veinte o treinta días de singladura, para llegar a las islas de Guadalupe, Deseada y Dominica.

En principio, los puertos de destino preferidos estaban en las Antillas (Cuba, Española, Puerto Rico), pero más adelante, la expansión económica de las zonas continentales de Perú y Nueva España desplazaron los terminales de la Carrera de Indias hacia Cartagena de Indias, Portobelo, Veracruz y La Habana. Cartagena era la base para el intercambio comercial con el virreinato del Perú. Veracruz unía la ruta comercial y marítima con México y era el punto de embarque de la plata de Nueva España. Portobelo abría el camino que comunicaba el océano Atlántico con el Pacífico a través del itsmo de Panamá. Finalmente, La Habana era el punto de reunión de los buques para iniciar la vuelta hacia España. A esta ciudad cubana llegaban los barcos procedentes de Nueva España y de Tierra Firme. Desde allí partían por el canal de Florida hasta las islas Azores, en unos treinta días de singla-

dura, donde recalaban para hacer acopio de agua y víveres. Por último, mediante una derrota ya conocida por los marinos portugueses desde bastante tiempo atrás, navegaban hacia Sanlúcar de Barrameda, donde hacían escala antes de remontar el río Guadalquivir para llegar a Sevilla.

En cuanto a las comunicaciones marítimas por el océano Pacífico, las acciones se centraron en los intentos de establecer una ruta practicable. No podemos olvidar que la ruta del estrecho de Magallanes, que unía directamente los puertos de Sevilla y Manila no tuvo mucha utilidad, pues al peligro que entrañaba la navegación por el citado estrecho, había que añadir el problema que suponía la necesidad de invernar durante el viaje, lo que aumentaba a más de un año el tiempo de duración del viaje entre ambas ciudades. Hasta 1565-1567 no se pudo contar con una derrota practicable para el regreso de las islas Filipinas hacia las costas occidentales de Nueva España, con la que se consiguió una sensible mejora de las comunicaciones marítimas a través del océano Pacífico.

El puerto de Acapulco, en la costa mejicana del Pacífico, sería, a partir de entonces, el centro de control del tráfico marítimo y comercial entre las islas Filipinas, América y España. La navegación entre Manila y Acapulco exigía alcanzar los 40° de latitud Norte y se prolongaba durante un período aproximado de cuatro meses. Por el contrario, la vuelta hacia Filipinas se realizaba, aprovechando los vientos tropicales, en sólo dos meses y medio. Normalmente, el viaje se hacía una vez al año y en un solo buque de gran tamaño, conocido como el «galeón de Manila». El tránsito hacia el océano Atlántico se efectuaba en Panamá, donde el pasaje y las mercancías atravesaban el itsmo hasta llegar a Portobelo, puerto en el que embarcarían hacia España.

Otra ruta de navegación, de carácter secundario, pero no por ello menos importante, era la que unía los puertos de la costa del Pacífico pertenecientes al virreinato del Perú con el istmo de Panamá, donde también se procedía al tránsito de las mercancías por tierra hasta Portobelo. La navegación entre los puertos de Trujillo y Callao y los de Nueva España y Panamá se realizaba en unos quince o veinte días, aprovechando los alisios del sudoeste y los vientos terrales y brisas suaves del Nordeste. No ocurría lo mismo con la vuelta hacia el Sur, en la que a veces había que emplear más de dos meses de navegación. No obstante, a pesar de las dificultades de la navegación por estas costas,

el viaje marítimo era preferido al terrestre, que se caracterizaba por las largas distancias a recorrer y por una geografía y unas condiciones meteorológicas muy poco propicias para el transporte de grandes cargas.

La Casa de la Contratación de Sevilla

Las comunicaciones castellanas con los nuevos territorios descubiertos fueron centralizadas por los Reyes Católicos en Sevilla, donde fue creada, en 1503, la Casa de la Contratación de las Indias Occidentales. Castilla seguía de esta forma los pasos de los portugueses que, unos años antes, habían fundado en Lagos (Algarve) la Casa da Guiné, trasladada a Lisboa con el nombre de Casa de Mina e da India en 1482. Esta institución portuguesa tenía la misión de fiscalizar la salida y llegada de los buques que viajaban hacia Oriente siguiendo la ruta que rodeaba al continente africano.

Las razones para la elección de Sevilla como sede de la Casa de la Contratación habría que buscarlas, sobre todo, en su calidad de puerto fluvial inexpugnable y en el hecho de ser tierra de realengo, donde el poder de la monarquía no tropezaba con las limitaciones impuestas por la nobleza en los puertos costeros sometidos a su señorío. Pero la Casa de la Contratación, además de sus funciones administrativas y económicas, añadió a sus cometidos una serie de misiones directamente relacionadas con la náutica. Gracias a ello, se convirtió, a lo largo del siglo XVI, en uno de los principales focos de la ciencia aplicada en la España del Renacimiento.

Fernando el Católico creó en 1508 el primer cargo técnico de la institución sevillana: el piloto mayor. Se puede decir que este primer paso supuso la reglamentación del título de piloto como técnico en el arte de navegar, en todo lo relacionado con los viajes hacia los territorios recién descubiertos. Las principales funciones del cargo de piloto mayor fueron, a partir de entonces, el examen de los pilotos y la supervisión de las cartas y los instrumentos que debían ser empleados en los viajes. Respecto a la formación de los pilotos destinados a la carrera de Indias se ordenó al primer piloto mayor lo siguiente:

> ...e mandamos que todos los Pilotos de nuestros reinos e señorios que agora son o seran de aqui adelante, que quisieren ir por Pilotos en la

> dicha navegación de las dichas islas e tierra-firme, que tenemos, a la parte de las Indias e a otras partes en el Mar Oceano, sean instruidos y sepan lo que es necesario de saber en el cuadrante e estrolabio, para que junta la platica con la teorica, se puedan aprovechar dello en los dichos viajes que hicieren [7]...

Pilotos Mayores nombrados en el siglo XVI

Américo Vespucio	1508
Juan Díaz de Solís	1512
Sebastián Caboto	1518
Alonso de Chaves	1552
Rodrigo de Zamorano	1586
Andrés García de Céspedes	1596
Rodrigo de Zamorano	1598

El aumento de las actividades de la Casa de la Contratación, y el volumen que iban adquiriendo los datos proporcionados por la exploración de los nuevos territorios descubiertos, dio lugar rápidamente a la necesidad de descargar al piloto mayor de alguna de sus misiones. Fue entonces cuando se creó un nuevo cargo, el de cosmógrafo mayor (1523), con la intención de que se hiciese responsable de todos los asuntos relacionados con las cartas de marear y los instrumentos náuticos, que habrían de ser utilizados en las grandes navegaciones. Con el tiempo, la Casa de la Contratación iría admitiendo a otros cosmógrafos que, además de colaborar con el anterior, consiguieron ser autorizados para elaborar las cartas y los instrumentos que debían utilizar los pilotos que partían hacia las Indias siguiendo las instrucciones oficiales de la institución sevillana. Los cosmógrafos formaban parte, también, de los tribunales examinadores de pilotos y estudiaban, junto al piloto mayor, las noticias de interés llegadas a la vuelta de cada viaje.

[7] Real Cédula del 6 de agosto de 1508, citada por J. Pulido Rubio en *El Piloto Mayor de la Casa de la Contratación de Sevilla,* Sevilla, 1950, p. 67.

Cosmógrafos nombrados en el siglo XVI

Diego Ribeiro	1523
Alonso de Chaves	1528
Diego Gutiérrez	1534
Pedro Mexía	1537
Alonso de Santa Cruz	1537
Sancho Gutiérrez	1553
Diego Gutiérrez	1554
Diego Ruiz	1573
Rodrigo de Zamorano	1579
Domingo Villarroel	1586
Gerónimo Martín de Pradillo	1598

Por otro lado, no puede ser olvidada una función de la Casa de la Contratación que estuvo tan relacionada con la navegación como con la geografía. Nos referimos a la construcción y custodia del padrón real o mapa arquetipo, que desde 1512 estuvo a cargo de la institución. Se trataba de un mapa de los territorios descubiertos en las exploraciones de las Indias que era renovado continuamente, según iban llegando las novedades después de cada viaje. El primer intento de elaborar un mapa de este tipo quedó ya reflejado en el nombramiento de Américo Vespucio como piloto mayor. Sobre este asunto decía así el mencionado documento:

> ...e porque haya orden en todo, es nuestra merced e mandamos que se haga un Padron general e porque se haga mas cierto, mandamos a los nuestros oficiales de la Casa de la Contratacion de Sevilla, que hagan juntar todos nuestros pilotos, los mas que allaren en la tierra a la sazon, e en presencia de vos el dicho Americo Vespuchi, nuestro piloto mayor, se ordene e haga un padron de todas las tierras e islas de las Indias, que hasta hoy se han descubierto, pertenecientes a los nuestros reinos y señorios, e sobre las razones e consulta dello y del acuerdo de vos el dicho nuestro piloto mayor se haga un padron general, el cual se llame padron real, e por el cual todos los pilotos se hayan de regir e gobernar e este en poder de los dichos nuestros Oficiales e de vos el dicho piloto mayor que ningund piloto use de otro ningund, sino del que fuese sacado por el [8]...

[8] *Ibidem*, p. 258.

A la vuelta de cada flota se añadían al padrón real los datos aportados por los pilotos. De esta forma, los cosmógrafos autorizados para dibujar las cartas de marear, que obligatoriamente debían llevar al salir de Sevilla los pilotos de las flotas, podían preparar nuevos mapas para ser utilizados en los siguientes viajes.

A mediados del siglo XVI, mientras el número de viajes transoceánicos seguía creciendo, parece ser que la formación de los pilotos continuaba siendo bastante defectuosa. Ello originó una reorganización de las funciones técnicas y docentes de la Casa de la Contratación, cuya principal consecuencia fue la creación, en 1552, de una cátedra de navegación y cosmografía. A partir de entonces, los pilotos que quisieran navegar hacia las Indias no serían examinados ni obtendrían el título, hasta que no hubiesen asistido durante un año a las clases de navegación y cosmografía que debía impartir el encargado de la cátedra. La intención de dotar a los buques de la carrera de Indias con hombres provistos de una fuerte preparación en navegación, astronomía y cartografía fue lo que impulsó a Felipe II a llevar a cabo esta reorganización de los aspectos docentes de la institución. De todas formas, se puede afirmar que, al centrarse la atención sobre el pilotaje en alta mar, se descuidó en cierto modo la preparación de los llamados marineros de costa y derrota, que tan necesarios serían unos años después en la preparación de la Armada contra Inglaterra. No hay que olvidar que aunque los pilotos adiestrados para surcar las rutas transoceánicas también eran capaces de navegar en aguas costeras, les faltaba la experiencia y la práctica en el sondeo de los fondos y en la navegación por las complicadas costas atlánticas del norte de Europa.

Catedráticos de cosmografía y navegación nombrados en el siglo XVI

Gerónimo de Chaves	1552
Sancho Gutiérrez	1569
Diego Ruiz	1573
Rodrigo de Zamorano	1575

En los mencionados estudios, los futuros pilotos de la carrera de Indias debían aprender las nociones básicas de la astronomía y la geo-

Parte·

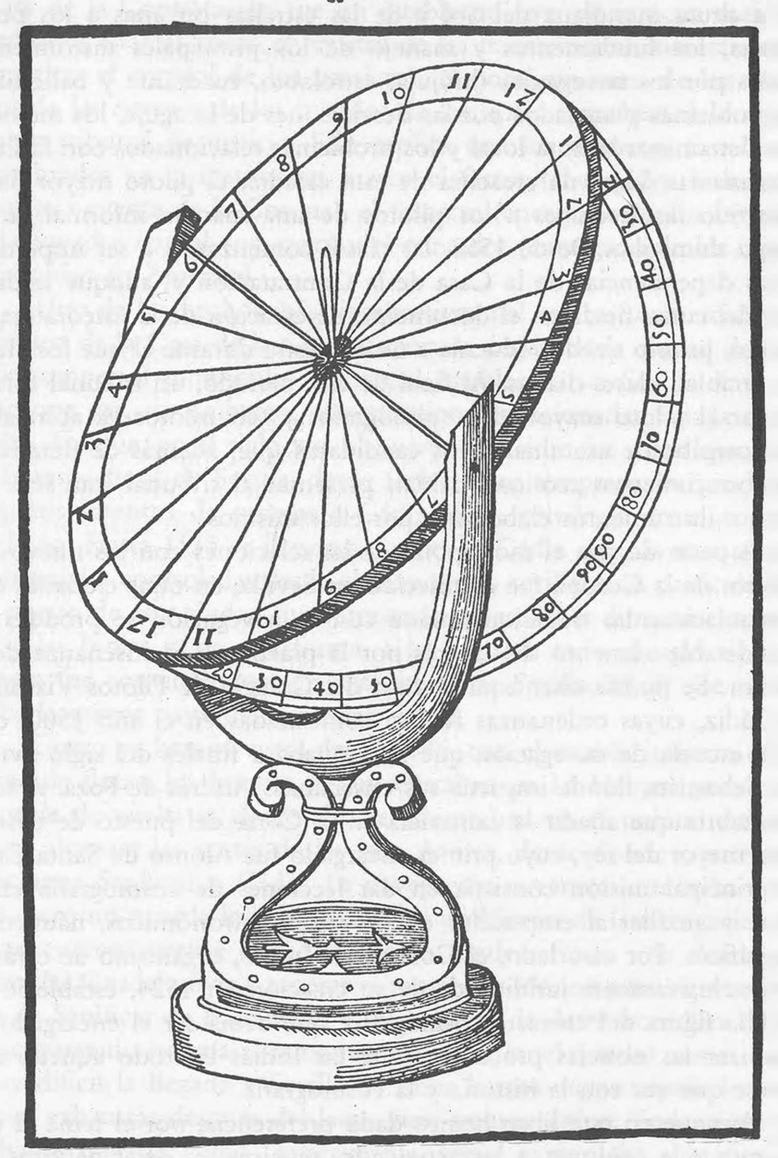


Figura 5. Representación del «Reloj diurno universal», incluida en el trato de Martín Cortés.

grafía, los métodos para determinar la latitud mediante la observación de la altura meridiana del Sol y de las estrellas cercanas a los polos celestes, los fundamentos y manejo de los principales instrumentos usados por los navegantes (brújula, astrolabio, cuadrante y ballestilla), los problemas planteados por las desviaciones de la aguja, los métodos para determinar la hora local y los problemas relacionados con la Luna y las mareas. Hasta la creación de esta cátedra, el piloto mayor había impartido las lecciones a los pilotos de una manera informal en su propio domicilio. Desde 1552, las clases comenzaron a ser impartidas en las dependencias de la Casa de la Contratación y, aunque la duración del curso fijada en el documento de creación de la cátedra era de un año, pronto quedó reducida a un trimestre durante el que los alumnos recibían clases diarias. Al final de este período, un tribunal formado por el piloto mayor, dos cosmógrafos y seis pilotos ya aprobados se encargaba de examinar a los candidatos que, además de demostrar sus conocimientos teóricos, debían presentar al tribunal una serie de cartas e instrumentos elaborados por ellos mismos.

A pesar de que el monopolio de las relaciones con los nuevos territorios de la Corona fue establecido en Sevilla, en otras ciudades costeras relacionadas tradicionalmente con la navegación se produjo un considerable aumento del interés por la práctica y la enseñanza de la náutica. Se podría citar aquí el caso del Colegio de Pilotos Vizcaínos de Cádiz, cuyas ordenanzas fueron confirmadas en el año 1500, o el de la escuela de navegación que funcionaba a finales del siglo XVI en San Sebastián, donde impartía sus enseñanzas Andrés de Poza. A todo ello habría que añadir la existencia en la Corte del puesto de cosmógrafo mayor del rey, cuyo primer encargado fue Alonso de Santa Cruz. Su principal misión consistía en dar lecciones de cosmografía en la Corte y auxiliar al emperador en los temas astronómicos, náuticos y geográficos. Por otro lado, el Consejo de Indias, organismo de carácter casi exclusivamente jurídico desde su creación en 1524, estableció en 1571 la figura del cronista cosmógrafo, que debía ser el encargado de organizar las noticias procedentes de las Indias en todo aquello que tuviese que ver con la historia y la cosmografía.

Aunque en este libro hemos dado preferencia, por el tema al que tenemos que ceñirnos, a las actividades técnicas, es decir náuticas, de la institución sevillana, no podemos olvidar que el origen de su fundación está en la necesidad de la monarquía de centralizar, organizar y

controlar el tráfico comercial entre las Indias Occidentales y Sevilla. La Casa de la Contratación fue un establecimiento de carácter mercantil, dedicado a tareas como el registro de las transacciones comerciales con América, el control de los pasajeros, el nombramiento de los escribanos de las naves y de los mandos de las flotas e, incluso, la actuación como tribunal de justicia. Ello explica que los primeros funcionarios nombrados en la institución fuesen el factor (encargado de los negocios por cuenta de la Corona), el tesorero (encargado de los impuestos relacionados con el comercio) y el contador (encargado de los ingresos obtenidos en América).

Uno de los hechos más significativos del carácter comercial y económico de la Casa de la Contratación, la pugna de la ciudad de Cádiz por romper el monopolio comercial establecido en Sevilla, tuvo mucho que ver, sin embargo, con cuestiones relacionadas con la navegación. Aunque, en el siglo XVI, el puerto de Cádiz fue oficialmente uno más respecto al de Sevilla, desde fechas muy tempranas se produjeron algunos intentos de otorgar a Cádiz algún privilegio en el comercio indiano. Hasta 1535 se llevaron a cabo en Cádiz algunas transacciones comerciales controladas desde el monopolio sevillano. A partir de 1574, el puerto de esta ciudad fue autorizado a despachar directamente naves para las Indias y, de esta forma, a lo largo de todo el siglo siguiente, Cádiz fue convirtiéndose en antepuerto de Sevilla, en el que se realizaba la mayor parte del comercio ilícito.

Como ya hemos visto, desde 1536, con el establecimiento del sistema de flotas, los buques se concentraban en La Habana para iniciar el viaje de vuelta y, desde allí, se adentraban en el océano Atlántico hasta alcanzar las costas de las islas Azores, desde donde eran escoltados hasta Sanlúcar o Cádiz. La navegación oceánica terminaba entonces, pero no ocurría lo mismo con los problemas de la navegación. Las naves, excesivamente cargadas, debían fondear frente a la desembocadura del Guadalquivir y esperar el momento idóneo para superar la barra de Sanlúcar de Barrameda y los bajos de la desembocadura del río. Algo parecido ocurría al remontar un cauce en el que las arenas hacían muy difícil la llegada a Sevilla de unos barcos cuyas tripulaciones estaban exhaustas después del largo viaje transoceánico. Todas estas dificultades trajeron como consecuencia, según aumentaba el tráfico marítimo y el tonelaje de los barcos, la elección de la bahía de Cádiz, donde las naves descargaban gran parte de sus mercancías para poder

remontar sin problemas el río Guadalquivir. Pronto se estableció la costumbre de reservar un tercio de la capacidad de cada buque, para cargar en aguas de la bahía gaditana antes de partir hacia el otro lado del Atlántico.

Desde 1537 existía, además, en Cádiz el Juzgado de Indias, una especie de sucursal de la Casa de la Contratación dedicada a la intervención de las actividades comerciales efectuadas en la ciudad. Poco después, en 1561, los buques averiados e incapaces de superar la barra de Sanlúcar fueron autorizados a efectuar la descarga de la mercancía en Cádiz.

A lo largo de todo el siglo XVII, el porcentaje de participación de Cádiz en el tráfico marítimo con América fue cada vez mayor. La bahía resultaba mucho más cómoda a unos grandes navíos que no podían navegar sin grandes dificultades por la ruta fluvial hasta Sevilla. Así estaban las cosas en 1680, cuando se estableció que Cádiz fuese la cabecera de las flotas indianas. Unos años después, en 1717, la Casa de la Contratación sería trasladada a esta ciudad, mediante una Real Cédula del 12 de mayo de ese mismo año.

Los barcos españoles del siglo XVI

Uno de los factores más influyentes en la realización de las grandes navegaciones de la Edad Moderna fue la mejora de las embarcaciones, tanto en lo relacionado con su maniobrabilidad como en la resistencia de sus estructuras. De ello trataremos a continuación.

El océano Atlántico y el mar Mediterráneo constituyen, como es bien sabido, dos áreas marítimas bastante diferentes, sobre todo en lo que se refiere a características geográficas, hidrográficas y meteorológicas. Ello dio lugar, en los albores de la Edad Moderna, al desarrollo de distintas fórmulas de construcción naval según cada una de estas zonas. Las características de la navegación oceánica, propia de las costas atlánticas, hicieron preferir a los marinos de los puertos de esta vertiente costera de la Península Ibérica el uso de barcos de vela. Por el contrario, en el mar Mediterráneo se utilizaron las galeras y galeazas, barcos tradicionalmente usados en esas aguas y caracterizados por disponer de propulsión a remos.

La marina oceánica

Los principales buques empleados en el océano Atlántico por los navegantes peninsulares en la época de los grandes descubrimientos fueron los siguientes:

a) Naos

Las naos cantábricas fueron el tipo de buque más usado durante el siglo XVI en España. Factores tan diversos como la navegación oceánica, las necesidades militares, o el desarrollo de los intercambios comerciales incidieron en su constante evolución a partir del inicio de la época de los descubrimientos geográficos. Esta evolución dio lugar a la transición desde las naos de corto puntal y una sola cubierta a las más voluminosas de dos cubiertas, construidas a lo largo de la segunda parte de la centuria.

Estos barcos se construían principalmente en los astilleros de la cornisa cantábrica, siguiendo una fórmula tradicional usada en toda Europa, conocida como la regla del «as, dos tres» (a cada unidad de medida en la manga correspondían dos de quilla y tres de eslora). No obstante, ésta no fue una regla fija, pues la evolución de la construcción de buques trajo consigo la aplicación de una serie de correcciones a esta norma, con la intención de mejorar en lo posible la capacidad de carga de las naves.

La nao podría ser definida como embarcación de vela grande, utilizada indistintamente para carga o para guerra, con un porte comprendido entre 100 y 600 toneles, con tres palos aparejados de velas cuadras en el mayor y el trinquete, y con vela latina en el palo de mesana. La importancia de la arboladura y de las velas fue creciendo conforme los barcos se aventuraban en la navegación de altura. Se trata de un tipo de embarcación en el que se reunían las condiciones de buena maniobrabilidad y navegación oceánica, con la capacidad de carga para efectuar el transporte de mercancías.

b) Carracas

Las carracas eran buques atlánticos aptos para los viajes de larga duración y las grandes travesías. Eran embarcaciones de robusta construcción y estaban dotadas de dos o tres puentes. Llevaban, además, castillos de varias alturas, tanto en popa como en proa. Generalmente,

su arboladura se basaba en cuatro palos (bauprés, trinquete, mayor y mesana) y su arqueo oscilaba entre las 500 y las 1.000 toneladas.

c) Carabelas

Las carabelas eran embarcaciones ligeras, más pequeñas que las naos, y muy veloces. Tras los grandes descubrimientos, la carabela evolucionó rápidamente. Debido a ello se pueden distinguir, a lo largo del siglo XVI, al menos tres tipos distintos de carabelas. El primero de ellos fue la llamada «carabela de los descubrimientos», barco veloz, especializado en navegar contra el viento y dotado de aparejo de velas latinas. Después surgió la llamada «carabela de armada», caracterizada por un pequeño castillo de proa y por montar velas redondas en el trinquete y en el palo mayor. Disponía también de artillería y mayor dotación de personal. Por último, en los años finales de la centuria, apareció la carabela de cuatro mástiles, con velas redondas en el trinquete y latinas en los tres palos restantes.

d) Otros buques menores

Aparte de las citadas existieron otras embarcaciones menores, de una sola cubierta o incluso sin ella, con fama de buena maniobrabilidad, que fueron utilizadas como barcos auxiliares, correos o remolcadores. Entre ellas, podrían ser destacadas las siguientes:

— Zabras

Embarcaciones con un arqueo comprendido entre 80 y 170 toneladas. Su casco era alargado y raso, y su aparejo tenía tres palos. Eran aptas para el transporte de correo y para misiones de reconocimiento y exploración.

— Pinazas

Las pinazas eran barcos aún más pequeños, con un arqueo de unas 50 toneladas. Se caracterizaban por tener una eslora bastante larga en relación con la manga y por su poca solidez. Esta última característica daba lugar, como contrapartida, a una buena velocidad y facilidad para la maniobra. En general tenían aparejo de tres palos, no llevaban cubierta y podían navegar a vela y a remo.

— Balleneras

Éstas eran pequeñas embarcaciones, estrechas y bajas de borda, utilizadas originariamente para la pesca de ballenas. Fueron muy usadas en operaciones de patrullas y persecución. Algunas de ellas disponían de velas y remos, aunque podían encontrarse también las que sólo navegaban a remo.

La marina mediterránea

El buque mediterráneo por excelencia siguió siendo durante esta época la galera. Sus orígenes se remontan a la antigüedad y su principal característica era la propulsión mediante remos accionados desde dentro del buque. Aunque existieron muchos tipos de galeras, se pueden describir, en líneas generales, como naves alargadas dotadas de bancos para los remeros a lo largo de toda la eslora. Durante todo el siglo XV y gran parte del XVI, las galeras estuvieron dotadas de un solo palo con vela latina. Ya en el siglo XVII se generalizaron los dos palos (el mayor y el trinquete). Durante el siglo XVI se produjo también la adopción del remo de galocha que, al estar manejado por varios remeros, aumentaba el rendimiento de la nave.

Una modalidad de galera que tuvo mucha trascendencia en las armadas del mar Mediterráneo fue la galeaza que, como su propio nombre indica, era una galera de grandes dimensiones, con una cubierta sobre los remeros y armada con cañones en ambos costados. Las utilizadas en la batalla de Lepanto disponían de tres palos, pero debido a su tamaño y armamento resultaban muy pesadas y difíciles de mover, pues eran verdaderas baterías flotantes. Tras la batalla de Lepanto comenzó la decadencia de este tipo de embarcaciones, que pronto fueron superadas en movilidad y posibilidades por los buques preparados para la navegación a vela.

La máquina de Blasco de Garay

La construcción de buques vino acompañada, durante todo el siglo XVI, por un importante aumento de la actividad técnica en los astilleros de la cornisa cantábrica (Pasajes, Colindres, Guarnizo), que se

destacaron por la rápida introducción de mejoras técnicas en sus construcciones. Por el contrario, las atarazanas de los puertos mediterráneos (Barcelona, Valencia) continuaron construyendo las tradicionales galeras usadas en el mar Mediterráneo.

Una de las invenciones relacionadas con la navegación, que merece ser reseñada, fue el artificio mecánico diseñado por Blasco de Garay para mover un barco sin el auxilio de los remos y las velas (únicos medios de propulsión utilizados en aquellos años). Siguiendo las recientes investigaciones del profesor R. Hernández, cuya tesis doctoral, en preparación a la hora de escribir este libro, trata sobre los ingenios mecánicos para la Armada de Carlos V, podemos afirmar que Blasco de Garay fue el primer ingeniero capaz de desarrollar un artilugio de este tipo. Tras conseguir el apoyo de Carlos V, Garay realizó cinco pruebas de su invento entre 1539 y 1543.

El sistema propuesto consistía en instalar en los buques una serie de ruedas de paletas que, movidas desde el interior por hombres, hacían desplazarse a la nave. La primera de las pruebas fue realizada en Málaga (1539), dotando a una nao de seis ruedas de paletas, tres a cada lado, movidas por dieciocho hombres. Aunque las primeras experiencias tuvieron un cierto éxito, no ocurrió lo mismo con las efectuadas a partir de 1540. Los fallos detectados en el mecanismo y los informes negativos emitidos por las personas designadas a tal efecto dieron lugar al abandono de este primer ingenio, para imponer un sistema de propulsión distinto al de las velas y los remos. No obstante, debemos reseñar no sólo la originalidad de la máquina de Blasco de Garay, sino también la capacidad técnica demostrada para construir los prototipos.

IV

LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS POR LOS NAVEGANTES

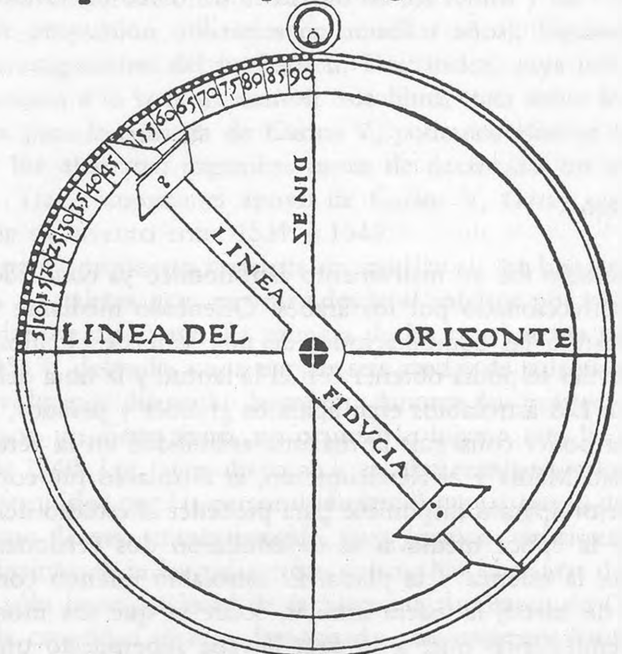
El astrolabio

El astrolabio fue un instrumento astronómico ya conocido por los griegos y perfeccionado por los árabes. Orientado mediante una brújula y utilizando las combinaciones de una serie de círculos y semicírculos móviles se podía obtener con él la latitud y la hora del lugar de observación. Los astrolabios eran aparatos grandes y pesados, construidos así para poder conseguir la máxima estabilidad en la vertical. Durante la Edad Media y el Renacimiento, el astrolabio fue considerado como el mejor aparato disponible para proceder al estudio del cielo. A lo largo de la época medieval se desarrollaron dos versiones de este instrumento, la esférica y la plana. El astrolabio esférico consistía en una esfera de metal, la esfera armilar, sobre la que iba montado un casquete hemiesférico que, a su vez, llevaba superpuesto un arco de latón, con pínulas en los extremos, libre para poder enfilar los astros y calcular las coordenadas celestes. Sin embargo, su volumen y su peso lo hacían muy incómodo de manejar y de difícil transporte. Como consecuencia de ello fue ideado el astrolabio plano, representación planisférica del astrolabio esférico, que pronto sustituiría a su antecesor.

El astrolabio plano resolvía los mismos problemas que el esférico, pero tenía la ventaja de ser más fácilmente transportable. El modelo clásico de astrolabio plano estaba formado por un disco graduado en el borde, en el que iba montada una lámina con una proyección estereográfica polar para la latitud del lugar de observación grabada en una cara. No era de extrañar que un mismo astrolabio dispusiera de varias de estas láminas superpuestas en las que se encontraban grabadas las proyec-

Parte.

da y aſtrolabio: y ala punta tenga vn agujero
prolõgado adõde quepa vna chaueta q̃ apꝛie
el halhidada con el aſtrolabio, de manera q̃ el
alidada pueda ãdar al rededoꝛ del aſtrolabio
como pareſce en la pꝛeſẽte figura.



Para tomar el altura d̃l ſol, cuelga el aſtrola-
bio dela armilla y põ el alhidada cõtra el ſol,
y alçala o baxala enel quarto graduado haſta
q̃ el rayo d̃l ſol entre poꝛ el agujero pequeño d̃
la pinola, y de pꝛeciſo eñl otro agujero peq̃ño
de la otra pinola: y entonces miraras la linea
fiducia y q̃ãtos grados ſeñalare eñl q̃rto gra
duado començando dela linea del oꝛizõte, tan
tos

Figura 6. Astrolabio náutico «con que los marineros toman la altura del Sol», representado en el trato de Martín Cortés.

ciones para distintas latitudes. Por el otro lado del disco iba montada la alidada, una especie de regleta giratoria sobre el eje del disco que servía para marcar las enfilaciones de los astros mediante unas pínulas. Una vez obtenida la altura del astro con la alidada, se podía deducir sobre la proyección grabada en el disco la hora del lugar de observación.

Aunque la aplicación inicial de los astrolabios fue la de medir alturas de los astros, los constructores de instrumentos le fueron añadiendo con el tiempo más ábacos y terminó convirtiéndose en una complicada máquina de calcular, que facilitaba a los antiguos observadores las posiciones y movimientos de diversos astros. Sin embargo, la utilización del astrolabio con fines náuticos dio lugar a una serie de simplificaciones dirigidas a facilitar su utilización por parte de los marinos. La única misión de un astrolabio en un buque era la observación para establecer la altura del Sol o de las estrellas, con el objeto de deducir de ésta la latitud del lugar de observación, de ahí la supresión de las distintas láminas de latón, que no tenían utilidad en este tipo de observaciones.

El astrolabio náutico consistía en un disco de cobre o latón que se colgaba de una anilla, para mantener así la verticalidad. En una de sus caras, llevaba trazados dos diámetros perpendiculares que dividían el círculo en cuatro partes iguales. Los cuadrantes superiores, situados entre el diámetro horizontal (línea del horizonte) y el vertical (línea del cenit), estaban divididos de 0 a 90°. Una alidada, montada sobre un pivote que atravesaba el centro del astrolabio, permitía hallar la altura de los astros visándolos directamente, en el caso de las estrellas, o por la línea de sombra si se trataba del Sol.

La ballestilla

Aunque parece ser que cuenta con algunos antecedentes entre los instrumentos usados por los astrólogos de la Antigüedad, la ballestilla fue un instrumento típicamente náutico, utilizado en los barcos a partir de las primera mitad del siglo XVI. Además del nombre de ballestilla, que tiene su origen en la semejanza del gesto del observador al utilizarla con el ballestero disparando su arma, este instrumento recibió también los nombres de radius visorius, radius astronomicus, baculus Jacobi y báculo mensorio.

La ballestilla estaba formada, esencialmente, por dos partes. La primera de ellas era una regla de madera con sección cuadrada y con una escala grabada. Esta regla fue conocida con los nombres de flecha, radio, verga o virote. La segunda pieza era una tabla rectangular que, mediante un orificio en el centro del tamaño de la sección de la flecha, se deslizaba por ésta de forma perpendicular. Entre los nombres dados a esta pieza podrían ser citados los de transversario, franja, sonaja, martinete y martillo.

El sistema empleado para la observación con la ballestilla era muy simple. Acercando el ojo al extremo de la regla con la escala, se iba moviendo la otra pieza hasta hacer coincidir el horizonte con el borde inferior y el astro elegido con el borde superior. La simplicidad del procedimiento y del propio instrumento traía como consecuencia una escasa precisión en la lectura de la escala grabada en la regla. La dificultad de que un observador pudiese conseguir una línea de enfilación perfecta en observaciones realizadas en la mar, daba lugar a importantes errores en la determinación de la latitud, algo que, a su vez, incidía en una tremenda imprecisión a la hora de calcular la posición geográfica de la nave.

Los cuadrantes de altura

De la misma forma que el astrolabio, los cuadrantes fueron utilizados para obtener las alturas de los astros sobre el horizonte, con la intención de determinar la latitud del lugar de observación. En sus orígenes medievales, los cuadrantes consistían en la cuarta parte de un círculo dividida en 90°. Mediante unas pínulas, situadas en el radio del círculo que terminaba en el extremo donde estaban marcados los 90, se observaba el astro elegido, cuya altura sobre el horizonte se obtenía mediante una plomada fijada al vértice del cuadrante, que señalaba un lugar en la graduación del instrumento. Esta configuración le impedía ser utilizado en la mar, cuyas oscilaciones hacían verdaderamente difícil mantener la verticalidad del hilo de la plomada.

Los primeros intentos por adoptar este instrumento a los usos náuticos vinieron dados por la sustitución de la plomada por una barra metálica, utilizada como índice en la graduación. Sin embargo, a pesar de su mayor resistencia a las oscilaciones de la nave, seguía resultando

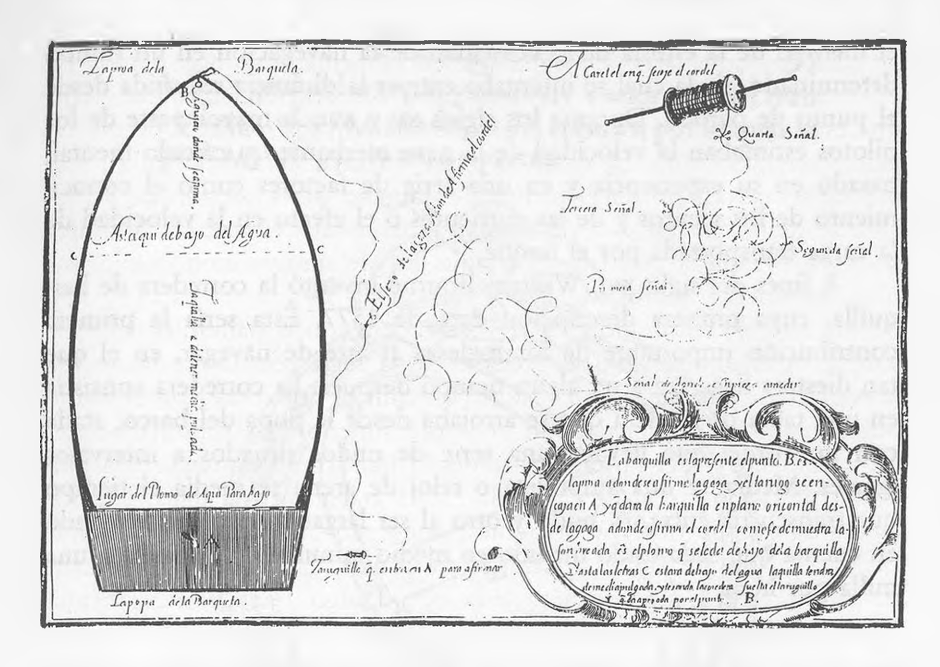


Figura 7. Figura y descripción de una corredera, según el *Norte de la navegación*, de Antonio de Gaztañeta (Sevilla, 1692).

bastante complicado mantener la verticalidad del instrumento durante la observación.

A finales del siglo XVI, el inglés John Davis diseñó una nueva versión de este instrumento, el cuadrante de Davis, también llamado cuadrante doble o cuadrante inglés. Se trataba de un instrumento con dos sectores circulares, uno de 60º y otro de 30º, montados a partir de un centro común. Su fácil manejo y escaso peso motivaron una rápida aceptación del mismo por los marinos.

La corredera

Mientras no se pudo disponer de un método fiable para determinar la longitud de la posición de la nave, la única posibilidad de establecer la situación de un buque en una carta de marear vino dada por

el método de la estima de la velocidad de la navegación en un rumbo determinado, de la cual se intentaba extraer la distancia recorrida desde el punto de partida. Durante los siglos XV y XVI, la mayor parte de los pilotos estimaban la velocidad de la nave mediante un cálculo mental, basado en su experiencia y en una serie de factores como el conocimiento de los vientos y de las corrientes o el efecto en la velocidad de la carga transportada por el buque.

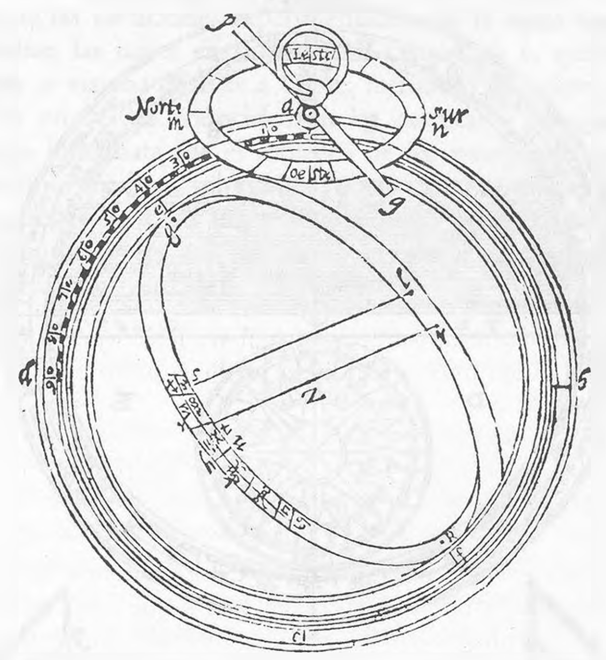
A fines del siglo XVI, William Bourne inventó la corredera de barquilla, cuya primera descripción data de 1577. Ésta sería la primera contribución importante de los ingleses al arte de navegar, en el que tan diestros llegarían a ser algún tiempo después. La corredera consistía en una tabla de madera que se arrojaba desde la popa del barco, atada con un cordel que llevaba una serie de nudos situados a intervalos iguales. Mediante una ampolleta o reloj de arena se medía el tiempo que transcurría entre un nudo y otro al ser largado el cordel, teniendo en cuenta que cada nudo medido en medio minuto correspondía a una milla por hora.

La aguja náutica

Los orígenes de la brújula siguen siendo inciertos en la actualidad. Las propiedades de orientación magnética de la barra de hierro imantada fueron descubiertas, al parecer, por los chinos en la Antigüedad. Su llegada al Mediterráneo se produjo a través de la civilización islámica, que en sus contactos con la India adquirió conocimientos sobre este medio de orientación y lo introdujo en la navegación por el océano Índico y por el mar Mediterráneo.

Inicialmente se trataba de un aparato poco desarrollado, consistente en una barrita de hierro imantada que flotaba en una vasija de agua, gracias a un corcho. A comienzos del siglo XIV, los italianos ya habían perfeccionado la brújula, convirtiéndola en un instrumento apropiado para la navegación. Las modificaciones más importantes a las que fue sometido este instrumento, de vital importancia para conseguir la orientación del buque, fueron la adopción de un eje para evitar que la aguja estuviese suelta, su colocación sobre un limbo, la división de éste en grados y la aplicación de la rosa de los vientos. Fue entonces cuando su utilización comenzó a ser frecuente entre los ma-

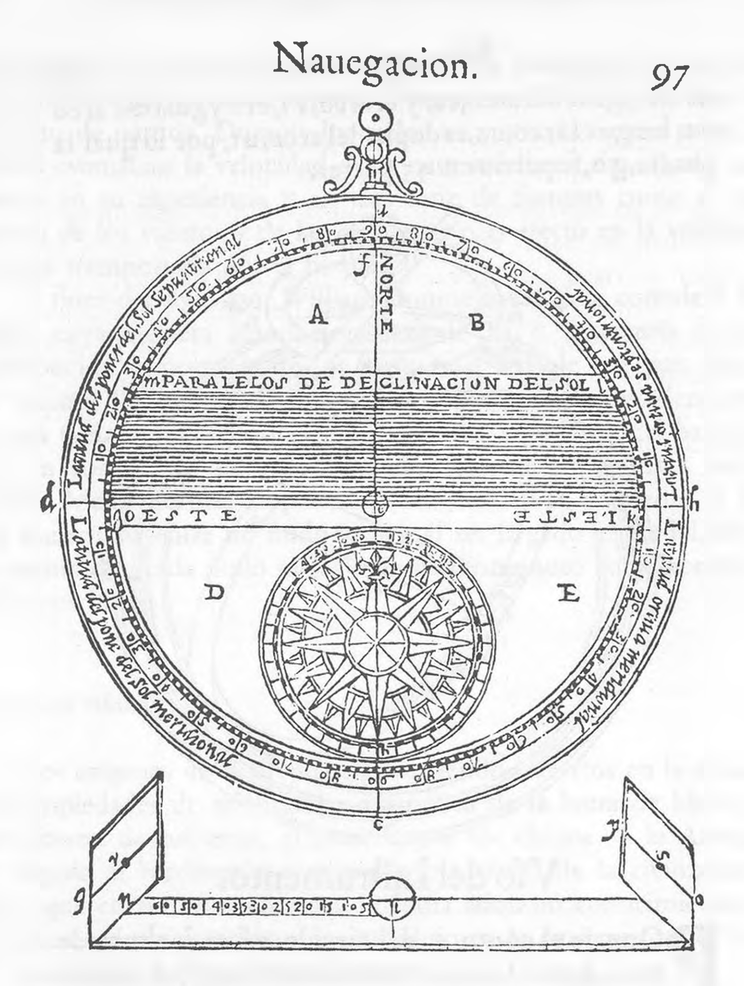
de ſer ygual del arco, t s, y el arco, r l, era ygual del arco u t: luego el arco, u s, es duplo del arco, u t, por lo qual la quarta, g h, ſe partio en. 45 partes.



Vſo del Inſtrumento.

POngaſe el punto, e, del circulo, e f, en la altura de Polo, donde ſe hiziere la obſeruacion: y colgado libremente el inſtrumento del ſuſpenſorio, ſe buelua la parte, b, para el Sol, y traygaſe el agugero, l, a la parte del Oriente, ſi fuere antes de medio dia: y leuanteſe el agugero, o ſe baxe haſta que el rayo del Sol dè en ſu declinaciõ en la parte opueſta: y eſtando eſto aſsi, el circulo, a b c d, eſtarà en el Meridiano. Pues ſi ſe puſiere el Indice, p q, de popa para proa, en el circulo, m n, ſe verà en eſte

Figura 8. Instrumento para determinar la variación de la aguja de marear, representado en el *Regimiento de navegación* (Madrid, 1606).



opueſta el Sur. Deſpues deſto ſe haga vna alidada,n o, que ſea ygual de,d b,con las pinulas,o p,n q,y la linea de la confiança ſera,n o: el cẽtro deſta ſerà,t,donde ſe hara vn agugero ygual de otro q̃ ſe hara en el centro, e; por los quales entrarà vn perno, que ſe entornillarà por la parte traſera,como ſe haze en los Aſtrolabios. Demas

Q 3 deſto

Figura 9. Instrumento para determinar la variación de la aguja de marear, representado en el *Regimiento de navegación* (Madrid, 1606).

rinos genoveses, venecianos, catalanes y mallorquines, de los que pasaría, poco tiempo después, a los portugueses y andaluces.

Directamente relacionado con el uso de la aguja estuvo el problema de la declinación magnética. Parece ser que el mismo Colón fue consciente de las variaciones experimentadas por la aguja magnética según avanzaban las naves en su viaje. La certeza de la variación de la aguja, según se viajaba de Este a Oeste, introdujo un nuevo factor que añadir a los errores ya conocidos en las derrotas y navegaciones. La consecuencia inmediata fue el esfuerzo de los navegantes por corregir estas variaciones mediante el establecimiento de los valores de la declinación magnética en cada lugar, lo que debía permitirles efectuar las pertinentes correcciones a la marcación de la aguja y, de esta forma, obtener la situación verdadera del Norte.

tinos genoveses, venecianos, catalanes y mallorquines, de los que pa-
saron, poco tiempo después, a los portugueses y andaluces.

Directamente relacionado con el uso de la aguja estuvo el proble-
ma de la declinación magnética. Parece ser que el mismo Colón fue
consciente de las variaciones experimentadas por la aguja magnética se-
gún avanzaban las naves [illegible] de la [illegible] de la
aguja, según se viajaba de Este a Oeste, [illegible] factor que
añadir a los errores ya conocidos en las derrotas [illegible]. La
consecuencia [illegible] fue el esfuerzo de los navegantes por corregir
esta variación [illegible] la decli-
nación [illegible]
[illegible]
obtener la [illegible] del norte.



V

LOS PRINCIPALES TRATADOS DE NÁUTICA

Completaremos este breve repaso a la situación de la náutica en la España del siglo XVI con la descripción y comentario de los principales tratados de náutica publicados durante aquellos años. Como el lector podrá comprobar a continuación, el siglo XVI acoge dos períodos completamente diferentes en la edición de libros sobre navegación. Durante la primera mitad de la centuria, coincidiendo con la época de los grandes descubrimientos y con el desarrollo de las navegaciones transoceánicas, la náutica española se situó a la vanguardia de las técnicas, alcanzando su máximo desarrollo y su mayor influencia en el resto de Europa tras la publicación de los tratados de Pedro de Medina y Martín Cortés. Por el contrario, la última parte del siglo estuvo caracterizada por el inicio de la gran crisis que se extendería a lo largo de gran parte del siglo siguiente. En lo que a la náutica se refiere, el nivel de las obras citadas anteriormente no pudo ser superado por las publicadas en los últimos años de la centuria. De todas formas, hemos creído conveniente reseñar también una serie de trabajos que, aunque no fueron publicados, circularon en forma de manuscrito en los ambientes náuticos sevillanos. Nos referimos, claro está, a las conocidas obras de Alonso de Chaves, Alonso de Santa Cruz y Juan Escalante de Mendoza.

SUMA DE GEOGRAPHÍA QUE TRATA DE TODAS LAS PARTIDAS DEL MUNDO: EN ESPECIAL DE LAS INDIAS. Y TRATA LARGAMENTE DEL ARTE DE MAREAR: JUNTAMENTE CON LA ESFERA EN ROMANCE: CON EL REGIMIENTO DEL SOL Y DEL NORTE: NUEVAMENTE HECHA

Martín Fernández de Enciso
Sevilla, Cromberger, 1519.

La de Martín Fernández de Enciso fue la primera obra geográfica general que abarcó la descripción del viejo y del nuevo mundo. Ofrece una detallada descripción de las costas americanas, gracias a la experiencia adquirida por el autor durante las tareas de exploración y colonización de América Central, donde pasó la mayor parte de su vida.

El hecho de aportar esta descripción de las costas americanas, convirtió a la *Suma de geographia...* en un libro muy solicitado en su época. Ello dio lugar a la publicación de tres ediciones en castellano (Sevilla, Cromberger, 1519; Sevilla, Cromberger, 1530; Sevilla, Andrés de Burgos, 1546) y una en inglés, traducida por John Frampton.

El libro comienza con unas breves nociones de cosmografía, que dan paso a la parte dedicada a las cuestiones del arte de navegar. A continuación, Fernández de Enciso presenta el método para determinar la latitud mediante la observación de la altura del Sol y de la estrella Polar, completado con unas tablas de declinación solar, además de tratar con cierto detenimiento sobre los instrumentos náuticos y la carta de marear.

Según las investigaciones de Thomas F. Glick, los capítulos dedicados a la náutica pueden tener su origen en la traducción de un pequeño tratado de navegación escrito en portugués por Andrés Pires en 1518 [9]. Las nociones de cosmografía utilizadas por Fernández de Enciso estaban basadas en las concepciones ptolemaicas tradicionales, aunque en su obra se pueden observar ya los indicios de la nueva mentalidad favorable al descubrimiento de conocimientos derivados de la experiencia y la práctica.

[9] Véase el artículo de Thomas F. Glick sobre Martín Fernández de Enciso en J. M.ª López Piñero (y otros), *Diccionario histórico de la ciencia moderna en España*, Barcelona, 1983.

Tratado del esphera y del arte de marear

Francisco Faleiro
Sevilla, Cromberger, 1535.

Francisco Faleiro o Falero nació en Portugal y vino a España con su hermano Ruy Faleiro, con la intención de tomar parte en la expedición que Fernando de Magallanes estaba organizando para dar la vuelta al mundo. Sin embargo, decidió quedarse en Sevilla, trabajando como cosmógrafo al servicio de la Corona de Castilla. Se tiene constancia de su colaboración en las revisiones del padrón real de la Casa de la Contratación, llevadas a cabo en 1536 y 1553, y de su participación en la junta formada para determinar la línea de demarcación entre los dominios españoles y portugueses en el océano Pacífico.

El libro de Faleiro es el primero de una serie de tratados de navegación editados en Sevilla, en el ambiente de estudios náuticos surgido alrededor de la Casa de la Contratación. En la primera parte se presenta una breve introducción cosmográfica, basada en la «sphera» de Sacrobosco, para entrar a continuación en los temas referentes a la navegación. De la misma forma que hiciera Fernández de Enciso en la *Suma de geographia...*, Faleiro describe los métodos para hallar la latitud y los instrumentos que se han de usar para ello. Incluye, además, unas tablas astronómicas calculadas para los años 1529-1532 y un capítulo sobre la declinación magnética.

Arte de navegar en que se contienen todas las Reglas, Declaraciones, Secretos y Avisos, que a la buena navegacion son necessarios, y se deven saber

Pedro de Medina (1493-1567)
Valladolid, F. Fernández de Córdoba, 1545.

Poco se sabe sobre los primeros años de la vida de Pedro de Medina. Gracias a su sólida formación literaria y científica, adquirida, al parecer, de forma autodidacta, fue designado para desempeñar las funciones de tutor de Juan Carlos de Guzmán, heredero del sexto duque de Medina-Sidonia. Al finalizar sus encargos docentes en la casa ducal, orientó su carrera hacia el estudio de los problemas de la navegación.

Comenzó a trabajar como cosmógrafo y examinador de pilotos en la Casa de la Contratación a partir de 1539, lo que le facultaba para construir y vender instrumentos náuticos y para dibujar cartas de marear. Desde entonces, se dedicó a la enseñanza de los nuevos pilotos y a la publicación de obras de navegación. Publicó algunas obras no relacionadas con la náutica, como el *Libro de las grandezas y cosas memorables de España* (1548) y el *Diálogo de la verdad* (1555), aunque la mayor parte de sus trabajos, de igual forma que su vida, estuvieron dirigidos hacia la cosmografía y la navegación.

El *Arte de navegar...* fue publicado en 1545 como resultado de la recopilación de datos y conocimientos, llevada a cabo por el autor durante el tiempo que llevaba ejerciendo de cosmógrafo en Sevilla. Parece ser, además, que esta obra incluye, reelaborado, un libro de cosmografía escrito por Medina en 1538 y que no había sido publicado. El *Arte de navegar...* de Pedro de Medina se compone de ocho libros, cuyos títulos son los siguientes:

1. «Del mundo, de su orden y composición».
2. «De la mar y sus movimientos, y cómo fue inventada la navegación».
3. «De los vientos, de su calidad y nombres, y cómo se ha de navegar con ellos».
4. «De la altura del Sol, y cómo se ha de regir por él la navegación».
5. «De la altura de los polos».
6. «De las agujas de navegar».
7. «De la Luna, y cómo sus crecientes y menguantes sirven en la navegación».
8. «De los días del año».

Como se puede ver por la relación del contenido, el libro de Pedro de Medina sigue la estructura iniciada por Faleiro, consistente en anteponer a los temas propios de la navegación un breve tratado de la esfera, con las nociones básicas de cosmografía consideradas necesarias para un navegante.

El *Arte de navegar...* recibió una gran acogida en los ambientes náuticos europeos de la época. Durante los cien años siguientes a su publicación fue editado quince veces en francés, cinco en holandés, tres en italiano y dos en inglés. La utilización del libro por un gran

número de pilotos y navegantes llevó a Medina a publicar en 1552 y 1563 un *Regimiento de navegación*, resumen de la obra anterior, en el que fueron suprimidos los capítulos teóricos en beneficio de los aspectos prácticos de mayor interés para los pilotos. El título completo dado a este resumen fue *Regimiento de navegación: contiene las cosas que los pilotos han de saber para bien navegar y los remedios y avisos que han de tener para los peligros que navegando les pueden suceder.* El plan de esta nueva obra, dividida en seis libros y completada con un apéndice en la edición de 1563, fue el siguiente:

1. «Donde se declaran las cosas que la carta de navegar enseña en la navegación».
2. «De la altura del Sol».
3. «De la altura del Norte».
4. «De las agujas de marear».
5. «De la cuenta de la Luna, y cómo vienen los crecientes y menguantes en la mar».
6. «Del relox del Norte».

«Avisos de la navegación».

Otra obra de Pedro de Medina relacionada en cierta medida con la navegación y la astronomía fue la *Suma de cosmographia...* (1561), una especie de complemento del *Arte de navegar...* dedicada a divulgar los conocimientos esenciales de la astronomía y la meteorología. Se trata de un manuscrito que no llegó a ser publicado en su época y que fue objeto de una edición facsimilar en 1948 (Sevilla, Patronato de Cultura de la Diputación Provincial). A pesar de que el trabajo está fechado en 1561, Pedro de Medina no incorporó a esta obra la nueva concepción copernicana. No sabemos si esto ocurrió por mero desconocimiento, o por resistencia a aceptar las nuevas ideas. De todas formas, es posible que el hecho de haber conocido las nuevas teorías, cuando ya tenía ultimado el manuscrito, le incitase a no publicarlo.

Ediciones del *Arte de Navegar* de Pedro de Medina

Francia

Lyón, Rouville, 1554
Lyón, Rouville, 1561
Lyón, Rouville, 1569

Ruán, Pavie, 1573
Ruán, Pavie, 1576
Lyón, Rouville, 1576
Ruán, Mallard, 1577
Ruán, Pavie, 1579
Ruán, Ferrand, 1583
Lyón, Rouville, 1602
Ruán, Reinsart, 1607
La Rochelle, Itham Brethomme, 1615
La Rochelle, Haultin, 1618
Ruán, Manassez des Preaulx, 1628
Ruán, Ferrand, 1633

Italia

Venecia, Pincio, 1554
Venecia, Pedrezano, 1555
Venecia, Baglioni, 1609

Inglaterra

Londres, Dawson, 1581
Londres, Dawson, 1595

Países Bajos

Amberes, Hendricks, 1580
Amsterdam, Claesz, 1589
Amsterdam, Claesz, 1592
Amsterdam, Claesz, 1598

Breve compendio de la sphera y de la arte de navegar, con nuevos instrumentos y reglas, exemplificado con muy subtiles demonstraciones

Martín Cortés de Albacar (?-1582)
Sevilla, Antonio Álvarez, 1551.

Aunque aragonés de nacimiento, Martín Cortés de Albacar, descendiente de noble familia, fue vecino de Cádiz desde antes de 1530.



Figura 10. Representación de Martín Cortés incluida en el *Breve compendio de la sphera y de la arte de navegar* (Sevilla, 1551).

En esta ciudad andaluza, tan relacionada con los viajes ultramarinos, se dedicó a impartir a los pilotos enseñanzas sobre la ciencia y la técnica de la navegación por las estrellas. Reunió sus conocimientos en esta obra, que pronto se hizo famosa entre los navegantes, hasta el punto de ser traducida al inglés bajo el título de *The art of navigation*.

El libro de Martín Cortés fue terminado en 1545, pero no fue impreso por primera vez hasta 1551. Aunque el autor presentó su trabajo como el primer tratado de náutica escrito en España, lo cierto es que en la fecha de su publicación ya hacía algunos años que había salido de la imprenta el *Arte de navegar* de Pedro de Medina. Según los especialistas que han estudiado y comparado estas dos obras, el *Breve compendio de la sphera...* de Martín Cortés se caracteriza por una exposición más clara y estructurada, además de tratar con más detalle y detenimiento determinados asuntos como los instrumentos o las cartas de marear. El libro de Martín Cortés está dividido en tres partes:

1.ª De la composición del mundo y de los principios universales que para el arte de la navegación se requieren.
2.ª De los movimientos del Sol y de la Luna y de los efectos que de sus movimientos se causan.
3.ª De la composición y uso de instrumentos y reglas del arte de la navegación.

Uno de los aspectos más destacables de la obra de Martín Cortés es su teoría sobre el magnetismo terrestre, que fue citada y criticada por Robert Norman en *The new attractive* (1581) y por William Gilbert en *De magnete* (1600). El problema de la declinación de la aguja había sido ignorado por Fernández de Enciso y negado por Pedro de Medina. Solamente Francisco Faleiro le dedicó a este tema un capítulo de su *Tratado del esphera y del arte de marear*. Martín Cortés fue más allá, pues además de estudiar la declinación magnética y sus variaciones, llegó a enunciar un concepto de polo magnético que él llamó «punto atractivo». Al tratar este tema, Martín Cortés se convirtió en uno de los pocos autores de su época que aportaron alguna idea original a la solución de un problema, cuya existencia todavía era puesta en duda por una parte de los autores. Las hipótesis de Cortés en el campo del magnetismo terrestre fueron, sin lugar a dudas, un claro antecedente de los trabajos que desarrollarían durante el siglo XVIII científicos como Halley, Euler, Buffon o Lalande.

Breue compendio de la sphera y de la arte de nauegar, con nueuos instrumentos y reglas, exemplificado con muy subtiles demonstraciones: compuesto por Martin Cortes natural de burjalaroz en el reyno de Aragon y de presente vezino de la ciudad de Cadiz: dirigido al inuictissimo Monarcha Carlo Quinto Rey de las Hespañas etc. Señor Nuestro.

¶ Ad maximum fortissimum inuictissimumq; Carolum Cæsarem huius nominis quintum illephonsus de sambria episcdriuasien. disticon.

¶ Cæsareos olim iactabas Roma triumphos.
¶ Desine dat maius Carolus imperium.

Figura 11. Portada del tratado de Martín Cortés, publicado en Sevilla el año 1551.

El *Breve compendio de la sphera...*, de forma parecida a lo que había ocurrido con el *Arte de navegar...* de Pedro de Medina, superó rápidamente los límites españoles, registrando un notable éxito en la Europa de aquella época. En Inglaterra llegó a convertirse en una autoridad y su fama, que se extendió a lo largo de muchos años, dio lugar a que fuera editado en numerosas ocasiones entre 1561 y 1630. Su traductor, Richard Eden, afirmó en el prólogo de las ediciones inglesas que había traducido el libro de Martín Cortés, porque en Inglaterra no había «libro alguno que con un método sencillo contenga tantos y tan raros secretos». Además de las numerosas traducciones, es de señalar la importante influencia ejercida por esta obra en los primeros tratados de náutica publicados en otros países. Tal es el caso del libro de William Bourne, titulado *A regiment of the sea* (Londres, 1574), basado directamente en la obra náutica del aragonés.

Ediciones inglesas del *Breve compendio de la sphera...*

Londres, Jugge, 1561
Londres, Jugge, 1572
Londres, Jugge, 1579
Londres, Jugge, 1584
Londres, Geffes, 1589
Londres, Allde, 1596
Londres, Kingston, 1609
Londres, Stansby, 1615
Londres, Fawcet, 1630

Compendio de la arte de navegar

Rodrigo de Zamorano (?-1620)
Sevilla, Andrés Pescioni, 1582.

Rodrigo de Zamorano fue un cosmógrafo y matemático que ingresó en la Casa de la Contratación de Sevilla en 1575, donde se dedicó en un primer momento a la enseñanza de los pilotos y el examen de los instrumentos. Desde 1579 fue el encargado de la fabricación de instrumentos náuticos en la institución sevillana. Sus actividades en asuntos relacionados con la navegación fueron en aumento hasta 1586, año en el

que accedió al cargo de piloto mayor de la Casa de la Contratación. La acumulación de cargos y trabajos científicos por parte de Zamorano dio lugar a una campaña en su contra, en la que tomó parte activa la Universidad de Mareantes, acusándole de no ser un marino con experiencia. El Consejo de Indias, organismo partidario de valorar más la cualificación científica teórica en el cargo de piloto mayor, se vio obligado a sustituir a Zamorano en 1596 por el cosmógrafo Andrés García de Céspedes. Sin embargo, dos años después, en 1598, fue restituido como piloto mayor, cargo en el que permanecería hasta su retiro en 1613.

Rodrigo de Zamorano fue autor de un pequeño tratado titulado *Compendio de la arte de navegar* y caracterizado por la claridad en el texto y en la ordenación de los asuntos en él tratados. El libro no alcanza la extensión y profundidad de los tratados de Medina y Cortés, pero incluye interesantes capítulos sobre instrumentos náuticos, en los que se recoge su descripción y las instrucciones para utilizarlos, además de tratar sobre la forma de fijar un punto determinado en una carta de marear y sobre la conversión de los grados en distancias. Zamorano fue uno de los primeros autores que se atrevieron a utilizar la obra de Copérnico, aunque sólo fuera en sus aspectos prácticos. De esta forma las hipótesis copernicanas fueron utilizadas como base matemática de las observaciones dirigidas a corregir las tablas de declinación solar. Su carácter didáctico y el hecho de que el autor ostentase el cargo de piloto mayor influyeron, sin lugar a dudas, en el hecho de que el *Compendio...* fuese reeditado cuatro veces durante el siglo XVI y fuese traducido y publicado en Holanda y en Inglaterra, donde apareció como apéndice a una obra de gran difusión entre los marinos: *Certains errors of navigation* de Edward Wright.

Quatri partitu en cosmographia practica i por otro nombre llamada Espeio de navegantes; Obra muy utilíssima i compendiosa en toda la arte de marear i muy neccesaria i de grand provecho en todo el curso de la navegación...

Alonso de Chaves (1493-1587)
Manuscrito.

Alonso de Chaves fue muy conocido en su época como experto en navegación, autor de cartas de marear y constructor de instrumentos náuticos. A lo largo de más de sesenta años trabajó en las actividades

técnicas y científicas de la Casa de la Contratación, donde adquirió un importante conocimiento del estado de la náutica en la España de la época. En 1528 fue nombrado piloto, cosmógrafo y maestro en la construcción de instrumentos náuticos en la Casa de la Contratación. Poco después, fue autorizado a impartir enseñanzas a los pilotos que quisieran aprender la cosmografía y el uso del astrolabio, el cuadrante y la carta de marear. En 1552 sustituyó a Sebastián Caboto en el cargo de piloto mayor, culminando de esta manera un proceso caracterizado por el desplazamiento de los pilotos a causa de la importancia adquirida en la Casa de la Contratación por sus técnicos cosmógrafos. Aunque ya en 1575 solicitó su retiro, la Casa de la Contratación no quiso desprenderse de sus servicios y le mantuvo en los cargos de cosmógrafo y piloto mayor hasta 1586, año en que fue sustituido por Rodrigo Zamorano como piloto mayor de la Casa de Contratación [10].

Alonso de Chaves dejó manuscritas dos importantes obras, la *Relación de la orden que observaba en el examen y admisión de pilotos y maestres de Indias en Sevilla* y aquella que nos ocupa. El *Espejo de navegantes* no fue publicado y ello puede parecer extraño teniendo en cuenta el cargo ocupado por su autor. Sin embargo, parece ser que se vio afectado por el criterio del Consejo de Indias en contra de su divulgación. Durante el siglo XVI, este organismo impediría o retrasaría la impresión de diversas publicaciones de valor estratégico, con la intención de que permanecieran ocultas y no llegaran a manos de los extranjeros. Posiblemente ocurriese algo de esto con la obra de Chaves, pues como veremos a continuación, su libro cuarto era un derrotero general de la navegación a las Indias que no convenía dar a conocer a las potencias enemigas y a los corsarios.

Como su propio nombre indica, la obra de Chaves está dividida en cuatro partes:

— Libro primero:

Trata de los calendarios civil y eclesiástico y de la fabricación y uso de los instrumentos necesarios para navegar (astrolabio, cuadrante,

[10] Véase el estudio de P. Castañeda, M. Cuesta y P. Hernández sobre la vida y la obra de Alonso de Chaves, publicado en la edición del *Espejo de Navegantes*, realizada en 1983 por el Instituto de Historia y Cultura Naval de Madrid.

ballestilla, sonda y ampolletas). En esta parte de su obra presta una especial atención a la aguja náutica, considerada como un instrumento imprescindible para llevar a cabo largas singladuras, y a la carta de marear, aprovechando para explicar las principales nociones de la cartografía y la forma de elaborar una de ellas.

– Libro segundo:

Trata de los movimientos del Sol y de la determinación de la latitud por medio de la observación de la altura meridiana de este astro y cuestiones relacionadas con la meteorología.

– Libro tercero:

Estaba dedicado completamente a la navegación y, a lo largo del mismo, Chaves estudia las mareas y las corrientes, los tipos de barcos existentes, las obligaciones del piloto y los peligros de la mar.

– Libro cuarto:

Se trata de una descripción general de las costas de las Indias efectuada en unos años en los que todavía se tenía en Europa muy poco conocimiento de ellas. Se trata de una información de primera mano, que seguramente sería elaborada por su autor a partir de los informes que los pilotos presentaban en la Casa de la Contratación y de los datos consignados en el padrón real.

Libro de las longitudines y manera que hasta agora se ha tenido en el arte de navegar, con sus demostraciones y ejemplos

Alonso de Santa Cruz (1505-1567)
Manuscrito.

El autor del *Libro de las longitudines...* nació en Sevilla en el seno de una familia dedicada al flete de barcos para los viajes a América. Las relaciones familiares con el puerto y la cercanía física de la Casa de Contratación despertaron muy pronto en Alonso de Santa Cruz el interés por la navegación. Participó en el viaje de Sebastián Caboto para buscar la ruta más corta hacia el Pacífico (1526-1530). La expe-

riencia adquirida durante ese viaje lo convirtió en uno de los expertos más consultados por el Consejo de Indias y por la Corte. Su producción científica ocupó un lugar importante en el diseño de instrumentos y la confección de mapas, cartas de marear y textos.

El *Libro de las longitudines...* quedó manuscrito a la muerte de Santa Cruz y fue publicado en 1921 por el Centro Oficial de Estudios Americanistas de Sevilla, en una edición dirigida por Antonio Blázquez. A lo largo de la obra se estudian los métodos más usuales entre los navegantes para la determinación de la longitud. Anticipándose a la evolución científica y tecnológica que llevaría a la construcción de cronómetros marinos de precisión en el siglo XVIII, Alonso de Santa Cruz defendió, en la parte final de su obra, la idea de que el problema de la determinación de la longitud en el mar no encontraría una solución favorable hasta que la técnica no permitiese una medida exacta del tiempo.

Itinerario de la navegación de los mares y tierras occidentales

Juan de Escalante de Mendoza (1545-1596)
Manuscrito.

Poco se sabe sobre la vida de Escalante de Mendoza aparte de su precoz relación con la mar por medio de su tío Álvaro de Colombres, que era capitán de barco. Su vinculación a las cuestiones náuticas aumentó con el traslado de su familia a Sevilla, donde casó con la hija de un juez de la Casa de la Contratación. La experiencia adquirida en sus viajes a Indias le llevó a escribir esta obra, que no pudo ser publicada por la oposición del Consejo de Indias, que, como se dijo al tratar de Alonso de Chaves, no veía con buenos ojos la divulgación de una información exhaustiva sobre las rutas y las costas americanas. Algo parecido debió ocurrirle a Baltasar Vellerino de Villalobos, otro autor del siglo XVI que, después de haber viajado a México, escribió una obra titulada *Luz de navegantes, donde se hallarán las derrotas y señas de las partes marítimas de las Indias, islas y Tierra Firme del Océano*, que también quedó manuscrita por contener una serie de informaciones, cuya divulgación no convenía a los intereses estratégicos españoles.

El *Itinerario de la navegación* de Juan Escalante de Mendoza resume, como hemos dicho, muchos años de experiencia en la carrera de

Indias. Contiene entre otras cosas, un breve tratado de navegación, nociones sobre la guerra en el mar e instrucciones para la construcción de barcos. Sin embargo, la parte más conocida de la obra es el derrotero de las costas americanas, en el que se recoge la descripción geográfica de los puertos de la ruta atlántica, utilizada por los navegantes españoles.

Hydrografía, la más curiosa que hasta aquí a salido a luz, en que demás de un derrotero general, se enseña la navegación por altura y derrota, y la del Este-Oeste: con la Graduación de los puertos, y la navegación al Catayo por cinco vías diferentes

Andrés de Poza (?-1595)
Bilbao, Mathias Mares, 1585.

Andrés de Poza, o de Poça, fue originario de Vizcaya pero se trasladó muy joven a Lovaina, en cuya universidad inició unos estudios que completaría más tarde en Salamanca. En 1570 obtuvo en esta última universidad la licenciatura en Leyes. Sin embargo, su interés por la navegación le llevó a la enseñanza de esta técnica y a la dirección de la Escuela de Náutica de San Sebastián.

La *Hydrografía...* del vizcaíno está dividida en dos partes muy bien diferenciadas. La primera de ellas es un tratado de náutica de tipo convencional, en el que se analizan las principales nociones del llamado arte de navegar. A continuación, en la segunda parte del libro, Andrés de Poza presenta un derrotero general de los puertos y costas atlánticas de Europa desde el estrecho de Gibraltar. Además, describe con detalle la ruta hacia China, y proporciona la posición geográfica de numerosos puertos y ciudades. La obra se completa con una traducción del libro de William Bourne titulado *A regiment of the sea* (Londres, 1574).

Instrucción náuthica para el buen uso y regimiento de las naos, su traça y govierno conforme a la altura de México

Diego García de Palacio (?-1595)
México, Pedro Ocharte, 1587.

A pesar de proceder de una familia de navegantes y haber realizado algunos estudios náuticos, García de Palacio se dedicó profe-

sionalmente a la carrera de Leyes. Entre 1572 y 1579 trabajó en la Audiencia de Guatemala, ejerciendo sucesivamente los cargos de fiscal y oidor de la misma. Desde 1580 ocupó el cargo de alcalde del crimen en la Audiencia de México. Además, llegó a ser rector de la Real y Pontificia Universidad de México y consejero del Santo Oficio. Diego García de Palacio nos legó, aparte de la obra de náutica que comentaremos más adelante, un interesante tratado sobre el arte de la guerra en tierra, los *Diálogos militares de la formación e información de personas, instrumentos y cosas necessarios para el buen uso de la guerra* (México, Pedro Ocharte, 1587).

La obra náutica de García de Palacio ha pasado a la historia por incluir una parte dedicada a la fabricación y maniobra de buques, que se convirtió, de esta forma, en el primer texto impreso sobre construcción naval. La estructura de la *Instruccion nauthica...* está formada por cuatro partes o libros. El primero de ellos incluye las habituales nociones de cosmografía y las instrucciones sobre el uso de los principales instrumentos náuticos (aguja, cuadrante, astrolabio y ballestilla). El segundo libro está formado por una serie de tablas astronómicas referidas a la latitud de la ciudad de México, acompañadas de unas explicaciones para su utilización en la navegación. La astrología es el tema del que trata el tercer libro, que incluye también las tablas de la Luna y las explicaciones sobre las cartas náuticas. El cuarto libro se centra en el tema de la construcción naval y la obra termina con un «Vocabulario de los nombres que usa la gente de mar», que puede ser considerado el glosario náutico impreso más antiguo que se conoce.

SEGUNDA PARTE

LA NÁUTICA EN LA ESPAÑA DE LOS AUSTRIAS



I

EL COLAPSO DE LA CIENCIA ESPAÑOLA

Como se ha dicho anteriormente, las tendencias características de la ciencia moderna, aunque vislumbradas claramente en la Baja Edad Media, fueron adquiriendo vigor y coherencia a lo largo del siglo XVI, aunque sus primeros resultados maduros no llegarían a plasmarse hasta un siglo más tarde. La astronomía ocupó un lugar de privilegio en el proceso de desarrollo de la revolución científica. El paso del sistema geocéntrico al heliocéntrico provocó tal impacto que, como se ha dicho en algunas ocasiones, a partir de entonces la aceptación de nuevas ideas sería bastante más sencilla. Aunque la cuestión del movimiento de la Tierra ya había sido debatida con anterioridad, la postura revolucionaria de Copérnico consistió en la introducción del cálculo matemático de las trayectorias de la Tierra y de los planetas alrededor del Sol, garantizando de esta manera una solución práctica a los problemas de cálculo y de calendario, surgidos de la aplicación de las teorías ptolemaicas. Seguramente, Copérnico no imaginaba que sus innovaciones constituirían la base de la ruptura total con la visión astronómica y cosmológica tradicional. Su intención había sido simplemente introducir unos cambios que contribuyesen a mantener los principios característicos de la astronomía tradicional. Con su propuesta de un sistema astronómico centrado en el Sol, Nicolás Copérnico había pretendido reformar la astronomía medieval, basándose en dos de los principios aristotélicos, la circularidad de las trayectorias y la uniformidad de los movimientos. No obstante, la aportación de Copérnico representó el primer paso de la revolución científica, un proceso que iría evolucionando, a partir de entonces, a lo largo de más de un siglo y cuyos hitos más importantes fueron marcando el hundimiento de la antigua ciencia medieval. Entre

las contribuciones más importantes a este proceso de renovación científica cabría destacar los trabajos y aportaciones de personajes de la talla de Tycho Brahe, Kepler, Galileo y Newton. Con la publicación de los trabajos de este último se podría dar por finalizada la influencia de la filosofía aristotélico-escolástica en lo que a la ciencia se refiere.

Aunque la astronomía fue la ciencia pionera en la revolución científica, los cambios no se hicieron esperar en el resto de las disciplinas científicas. La filosofía natural y la alquimia fueron paulatinamente sustituidas por la física y la química, las matemáticas contemplaron el desarrollo de la geometría analítica y del cálculo infinitesimal y la técnica comenzó a superar su separación de las ciencias teóricas, registrando un avance espectacular.

Sin embargo, la evolución de estos fenómenos en España fue sustancialmente distinta. Justo en el período comprendido entre la publicación de las dos obras claves de la revolución científica (Copérnico, 1543; Newton, 1666), se produjo en España un fortalecimiento de la ideología tradicional, por lo que el progreso de las disciplinas que podían aportar novedades peligrosas para las ideas contrarreformistas quedó paralizado bruscamente. Uno de los índices más llamativos de este colapso de la actividad científica que se produjo a lo largo del siglo XVII es el que refleja el volumen de publicaciones de carácter científico. El crecimiento del número de publicaciones se fue frenando durante la última parte del siglo XVI y los primeros años del XVII, hasta que, a mediados de esta centuria, se produjo una fuerte caída. El bache registrado fue tal, que a fines de siglo, cuando en el resto de Europa tenía lugar un importante auge de la literatura científica, en España se publicaban menos libros que en el siglo anterior.

Aunque al margen de las nuevas corrientes renovadoras que se iban imponiendo en la Europa de la época, las actividades científicas españolas tuvieron todavía una considerable importancia en los primeros años del siglo XVII. Disciplinas como la medicina, la ingeniería militar o el arte de navegar, contaron todavía con numerosas contribuciones que tuvieron una cierta influencia en los restantes países europeos. No obstante, se fue imponiendo la actitud de ignorar las novedades y aportaciones renovadoras surgidas tanto dentro de nuestro país como en el resto de Europa.

Mientras tanto, en otros países todas las disciplinas científicas fueron evolucionando y sufrieron importantes transformaciones hasta lle-

gar al punto de partida del período científico moderno. Sin embargo, España, que durante una gran parte del siglo anterior había sido uno de los países protagonistas del desarrollo de los saberes científicos, no pudo participar en ninguna de las primeras manifestaciones maduras de la ciencia moderna, como ha señalado en diversas ocasiones el profesor López Piñero [1]. Debido a la práctica contrarreformista impuesta desde el poder, partidaria de marginar por sistema cualquier planteamiento renovador y aceptar solamente las posiciones doctrinales propias del escolasticismo, la ciencia española quedó cada vez más aislada respecto a la evolución operada en el resto de Europa, además de sufrir la marginación dentro de su propio país.

Al tener que hacer frente al proceso de renovación de la ciencia registrado en Europa, surgieron en España dos tendencias bien diferenciadas. Unos, los intransigentes, se negaron rotundamente a cuestionar los principios básicos de las doctrinas tradicionales, mientras que otros, los más modernos, aceptaban los progresos más evidentes que llegaban del extranjero. Frente a ambos grupos de defensores de la tradición, surgiría a finales de la centuria un nuevo grupo de personas decididas a romper con los esquemas tradicionales. Fueron los primeros científicos españoles modernos en sentido estricto y se les conoce generalmente con el nombre de «novatores». Estos hombres, en su lucha contra los defensores de una tradición anquilosada en ideas casi medievales, aportaron a nuestra historia una serie de aspectos nada desdeñables. No sólo fueron los introductores de la nueva ciencia y de su metodología empírica, sino que actuaron como defensores de la idea de progreso frente al criterio de la autoridad incuestionable, además de aparecer como críticos denunciantes del atraso español en materias científicas. Fueron, en definitiva, los iniciadores de ese período de aculturación mediante el que España, sólo cien años después de que sus científicos hubiesen figurado a la cabeza de la ciencia europea, intentaba desesperadamente comunicar con el resto de Europa para sumarse a un progreso del que había quedado descolgada años atrás.

Durante el siglo XVII, el cultivo de las ciencias resultaba bastante problemático en España, dada la desfavorable situación de las instituciones dedicadas a tal menester. Muchos centros de investigación y en-

[1] J. M.ª López Piñero, *La ciencia en la historia hispánica*, Barcelona, 1982, p. 36.

QVADRANTE DE REDVCCION. 84.

SEGUNDA PARTE
DE LA
NAVEGACION
CON LA REDUCCION
DE PARALELOS,
EN LA CONFORMIDAD QVE NOS DEMVESTRA EL GLOBO TERRESTRE,

PROPRIAMENTE ARTE MAYOR
DE LA NAVEGACION.

DIFINICION



O que haſta aqui hemos eſcrito ha ſido ſolamente principios de la navegacion, en los quales ſe pueden adeſtrar los afi- cionados principiantes, que quieren comprehender eſtas ſciencias, pues en ellas ſe hallaràn todas las reglas que ſon neceſſarias para la practica, y buena di- reccion de la navegacion, y porque al- guños que preſumen ſer muy inteligẽtes en eſtas ſciencias de la navegaciõ (no vſando en ſu practica mas reglas de las que haſta aqui hemos eſcrito) vean quan diferentemente ſe deben reſolver las reglas de la verdadera navegacion de lo q̃ ellos obſervan, pro- ſeguirèmos con eſta ſegunda parte, ò Arte mayor de la navega- cion, en la qual ſe verà con la evidencia, y Demonſtraciones cõ- venientes, quantos herrores ſe cometen vſando la practica de las derrotas, ſolamente con la ſimple reſolucion de los Triangulos Retilinos planos, como haſta aqui hemos practicado en todas las Propoſiciones, y ſus Exemplos.

PRO-

Figura 12. Página del *Norte de la navegación* de Antonio de Juan (Madrid, 1771).

señanza creados en el Renacimiento habían desaparecido (como la Academia de Matemáticas de Madrid, clausurada en 1625) y otros, como la Casa de la Contratación de Sevilla, cuna de importantes trabajos sobre náutica, astronomía y matemáticas, habían entrado en un período de letargo. También las universidades, que conservaban la misma estructuración que en el siglo XVI en lo referido a las disciplinas científicas, registraron un considerable descenso en la calidad de sus enseñanzas. Muchas de sus cátedras más importantes (cirugía, astronomía, matemáticas) permanecieron vacantes por largos períodos de tiempo, mientras que las restantes permanecían regidas por partidarios de las posturas intransigentes. La única institución creada en este período que llegó a alcanzar un cierto relieve fue el Colegio Imperial de Madrid, de la Compañía de Jesús, en cuya cátedra de matemáticas llegaron a trabajar personajes de la talla de José de Zaragoza. La deficiencia de verdaderos centros de investigación, y el control de las instituciones por parte de los tradicionales más intransigentes, dio lugar a que los partidarios de la renovación tuviesen que recurrir a la protección de clérigos y nobles, como Juan José de Austria, y a la fundación de tertulias y asambleas, en las que se discutía sobre temas científicos con una mentalidad claramente preilustrada. Estas tertulias tuvieron su más clara expresión en las organizadas por Juan José de Austria, el marqués de Villena, el marqués de Mondéjar o Baltasar de Íñigo.

La pujanza de este tipo de reuniones tuvo lugar en el contexto de quiebra de las estructuras de lo que se ha dado en llamar el «Estado de los Austrias». La decadencia de las ciencias y la ruptura de los «novatores» con la defensa intransigente de las doctrinas establecidas por la Contrarreforma pueden ser inscritas en una situación general de crisis. No hay más que echar un vistazo a la demografía (redistribución de la población en favor de la periferia), a la economía (hundimiento económico de Castilla y lento proceso de recuperación de la Corona de Aragón) o a los asuntos políticos (pujanza del fenómeno neoforalista), para comprender que algo estaba empezando a cambiar en las estructuras del Estado, y las actividades científicas y técnicas no podían ser ajenas a este fenómeno.

II

EL AUGE DE LA ASTRONOMÍA

La revolución científica

En algunas ocasiones se ha hablado de años maravillosos al tratar de aquellos que transcurrieron entre 1543 y 1678 (fechas de la publicación del *De revolutionibus orbium coelestium* de Copérnico y de los *Philosophiae naturalis principia mathematica* de Newton, respectivamente). A lo largo de este lapso de tiempo la ciencia moderna puso sus bases, y no es nada fácil decidir cuál fue el principal factor desencadenante de este proceso. Seguramente, lo más prudente sería señalar los diversos factores cuya presencia acompaña al desarrollo de la nueva ciencia y, en general, al Renacimiento, especialmente la sustitución de la antigua economía de subsistencia y el crecimiento de la importancia social de los artesanos, artistas e ingenieros. No hay que olvidar que, ya durante la Baja Edad Media, se había iniciado un proceso de modificaciones en el sistema económico, acompañado por un rápido florecimiento de las ciudades, de la industria y del comercio, que puede ser situado en el origen de los cambios registrados en el Renacimiento.

Las soluciones prácticas precisadas por la nueva sociedad, además de aumentar la importancia social de artistas e inventores, necesitaban sustentarse sobre concepciones científicas nuevas. La exigencia de práctica y observación comenzó a desbordar rápidamente a las viejas teorías científicas, sobre todo en el campo de la astronomía y de la mecánica. La lucha entre el aristotelismo medieval preponderante y los principios de la nueva ciencia constituyó el núcleo básico de los cambios llevados a cabo en este período. Factores como la observación, la experimentación, la separación entre ciencia y magia o la utilidad de la

ciencia, que ya habían sido tímidamente defendidos en épocas anteriores, tomaron entonces verdadera pujanza, favorecidos, además, por las ideas defendidas por movimientos filosóficos tales como el humanismo, el neoplatonismo o el de los filósofos de la naturaleza [2].

La astronomía ocupó un lugar privilegiado en el proceso de desarrollo de la llamada revolución científica. El paso del sistema geocéntrico al heliocéntrico provocó tal impacto que, como se ha dicho muchas veces, a partir de entonces aceptar cualquier otra idea sería posible. Como ya sabemos, la cuestión sobre el movimiento de la Tierra había sido debatida en diversos momentos de la historia. La postura revolucionaria de Copérnico consistió pues, más que en admitir la idea del movimiento terrestre, en calcular matemáticamente las trayectorias de la Tierra y de los planetas alrededor del Sol, de forma que quedara garantizada la solución de los problemas de cálculo y de calendario, cada vez más evidentes con el sistema aceptado hasta entonces. Se aducían importantes factores a favor de la teoría geocéntrica, especialmente la posibilidad de seguir el movimiento de los planetas con la misma corrección en el sistema ptolemaico que en el copernicano y, sobre todo, el testimonio de los sentidos, que nos presenta una tierra inmóvil alrededor de la que todo se mueve. Sin embargo, la revolución astronómica se produjo, a pesar de que la astrología, pronosticadora de acontecimientos naturales y políticos, constituía la habitual ocupación de los astrónomos, y de que los motivos que inducían a apoyarla eran mucho más vagos (aparición de una nueva mentalidad favorable a la traducción y comprobación de los clásicos, influencia del pitagorismo y del platonismo en lo que se refiere a la relación entre matemáticas y realidad).

El callejón sin salida en el que se encontraba la astronomía medieval, dominada por un sistema como el ptolemaico, que cada vez se hacía más insostenible, y su convencimiento de que el universo, como obra divina, tenía que estar gobernado por leyes matemáticas simples y debía constituir una unidad armónica, llevaron a Nicolás Copérnico (1473-1543) a proponer un sistema astronómico con el Sol situado en el centro. No pretendía con ello llevar a cabo una revolución, sino

[2] Sobre el tema de la revolución científica, véase C. Mínguez, *De Ockham a Newton: La revolución del pensamiento científico*, Madrid, 1986; A. Baig y M. Augustench, *La revolución científica de los siglos XVI y XVII*, Madrid, 1987.

mantener los principios más característicos de la antigua astronomía: la circularidad de las trayectorias y la uniformidad de los movimientos. Seguramente, Copérnico no sospechaba que las innovaciones propuestas en su obra constituirían la base de la ruptura total con la visión astronómica y cosmológica tradicional que él mismo había tratado de recomponer. La aportación de Copérnico a la astronomía representó, pues, el primer paso de la revolución científica, un proceso que, a partir de entonces, fue evolucionando a lo largo de más de un siglo y cuyos hitos más importantes fueron marcando el paulatino hundimiento de la antigua ciencia.

Aunque no fue un astrónomo teórico y, por lo tanto, no aportó ninguna nueva ley básica a la nueva ciencia, no hemos de olvidar la gran labor observacional de Tycho Brahe (1546-1501). Este astrónomo danés fue un claro integrante de la vanguardia científica de fines del siglo XVI, conocido por sus numerosas observaciones astronómicas, llevadas a cabo de forma sistemática y mediante instrumentos construidos por él mismo. Sus trabajos llegaron a la perfección de lo que era posible hacer sin contar aún con el telescopio. Sus tablas y localizaciones de planetas fueron indispensables para que aquellos que le siguieron pudieran completar sus aportaciones.

No obstante, la ruptura definitiva con la astronomía tradicional vendría de la mano de Kepler (1571-1630). Los principales postulados de la astronomía antigua (geocentrismo, geoestatismo e inmutabilidad de los cielos) ya habían sido puestos en entredicho por Copérnico y Brahe. Kepler daría un nuevo paso defendiendo el sistema copernicano y la astronomía basada en mediciones metódicas y repetidas. Sus trabajos culminaron con la formulación de unas leyes, conocidas con su nombre, que acabaron con el predominio de la circularidad en las concepciones cosmológicas, al concluir que las órbitas de los planetas eran elípticas. Desde el punto de vista astronómico, la revolución iniciada años atrás se completaba con las aportaciones de Kepler. Sin embargo, al asimilar la Tierra al resto de los planetas se hacía imprescindible desarrollar una física que explicase una concepción del universo en la que ya no estuviesen separados el mundo terráqueo y el mundo celeste. Ésa sería la tarea de personajes como Galileo (1564-1642) y Newton (1642-1727).

Galileo fue el introductor de los conceptos básicos de la ciencia moderna. Aunque no alcanzó la genialidad innovadora y observacional de Copérnico, Brahe o Kepler, el uso del telescopio le permitió hacer

descubrimientos y aducir argumentos que le apoyaban en su defensa del heliocentrismo y en el desarrollo de las bases de la mecánica. El profundo rechazo de las leyes científicas aristotélicas fue uno de los aspectos más característicos de la postura de Galileo a favor de la teoría copernicana. Su concepción de la naturaleza, regida por relaciones de carácter matemático, afianzó una nueva idea mecánica de la realidad en la que no tenía cabida fin alguno. Toda su filosofía matemática estaba dirigida a combatir la filosofía del sentido común de los aristotélicos, que había sido la predominante durante muchos siglos. La principal novedad del método de trabajo empleado por Galileo consistió, pues, más que en la aplicación de una serie de reglas, en el establecimiento de un nuevo modo de entender la realidad. Esta nueva visión defendía una realidad estructurada racionalmente y, por tanto, matemáticamente.

Kepler y Galileo, que tanto habían contribuido al desarrollo científico de la mecánica planetaria, no pudieron aportar, sin embargo, una explicación coherente y racional de los hechos por ellos comprobados. Habría que esperar a Newton para que culminase el proceso de formación de la ciencia moderna, recogiendo y desarrollando los diversos elementos aportados por sus predecesores. De todas formas, no debe olvidarse a Huygens (1629-1695), precursor de Newton en alguno de sus trabajos. Huygens desarrolló una mecánica muy avanzada con motivo de sus estudios sobre el péndulo, alguno de cuyos postulados tendrían mucho que ver con las leyes de Newton, a las que él mismo tardaría mucho en admitir. El período transcurrido entre Galileo y Newton no sólo separó a los dos pensadores y a los correspondientes entornos en los que se habían formado, también diferenció dos épocas y dos sociedades con unos valores muy distintos. De la Italia renacentista dividida en pequeños estados se pasó a la Inglaterra del siglo XVII, donde profundas transformaciones económicas, sociales y religiosas habían provocado dos revoluciones políticas (1641-46 y 1688-89). La ciencia no pudo quedar a un lado de este proceso histórico en el que se produjo el aumento de la influencia en la sociedad de la burguesía, que precisaba cada vez en mayor escala los servicios de los científicos.

Las principales aportaciones de Newton al establecimiento definitivo de la ciencia moderna fueron, además de la formulación del método científico, la publicación en 1666 de la ley de la gravitación universal, que daba respuesta a las causas del movimiento de los planetas,

a la naturaleza del desplazamiento de los cometas y al origen de las perturbaciones originarias del movimiento de precesión de los equinoccios. A partir del momento de la publicación de su teoría de la gravitación, los principios de la filosofía aristotélico-escolástica comenzaron a ser entendidos como meras fantasías. Independientemente de todo ello, Newton fue el iniciador del estudio de los fundamentos del cálculo infinitesimal, descubrió el espectro solar y construyó el telescopio reflector, cuyo dispositivo de observación fue conocido como newtoniano.

El cambio teórico que había comenzado a producirse en la astronomía a lo largo del siglo XVI, con la formulación de las ideas de Copérnico, recibió un fuerte impulso en la siguiente centuria. Las numerosas observaciones de Tycho Brahe, las leyes propuestas por Kepler y la utilización científica de las lentes para observar el cielo, llevada a cabo por Galileo, abrieron un fructífero período en la historia de la astronomía que culminaría, tras las importantes aportaciones de Newton, en el desarrollo de la astronomía que caracterizó al siglo de las luces.

En el siglo XVII se produjo un florecimiento tal de la astronomía práctica, que algunos autores han llegado a hablar de la edad de oro de la astronomía de observación. De la utilización de instrumentos astronómicos de carácter medieval se pasó rápidamente al uso de un nuevo instrumento básico en el posterior desarollo de esta ciencia, el anteojo o telescopio. Este nuevo instrumento, utilizado por primera vez por Galileo para observar el cielo de forma científica, fue inventado y construido independientemente en varios países europeos. De ahí que España, Holanda e Italia se disputen el honor de haber sido cuna de este importante descubrimiento, que sirvió para acercar el universo a los atónitos ojos de los hombres de la época.

Los primeros anteojos, formados por lentes instaladas en dos tubos de cartón o de latón, que se deslizaban uno dentro del otro, se caracterizaban por una gran simplicidad técnica. Sin embargo, ello no impidió que los astrónomos confirmasen y completasen mediante su uso las teorías de Copérnico y las leyes de Kepler. Además, sirvieron, y esto fue lo más espectacular de cara a la mayor parte de las personas, para descubrir una gran cantidad de cuerpos celestes y para estudiar con detenimiento el primer blanco al que todo observador del cielo dirige inicialmente su mirada, la Luna.

El problema de la determinación de la longitud

Como ya hemos visto, el descubrimiento de América y las expediciones marítimas surgidas a partir de entonces contribuyeron a desarrollar aún más la tradición marinera que existía en algunas zonas de España desde la Edad Media. Las grandes navegaciones transoceánicas fueron el punto de partida del desarrollo de las técnicas modernas de navegación. Los países que, en este orden de cosas, alcanzaron una mayor cantidad de progresos fueron, sin duda, aquellos que, a partir de entonces, sintieron la necesidad de llevar a cabo con cierta regularidad las citadas navegaciones oceánicas, es decir, España, Portugal, Gran Bretaña o Francia.

Las pérdidas constantes de buques, motivadas por la inseguridad derivada de la dificultad que entonces existía para poder determinar la posición en alta mar, dieron lugar rápidamente a la aparición de una preocupación política por la solución de este problema. Sabemos que para fijar la posición geográfica de un lugar cualquiera es necesario determinar con exactitud su latitud y su longitud. El cálculo de la primera de estas coordenadas fue resuelto sin muchos problemas, pues su valor coincide con el de la altura del polo celeste en dicho lugar (identificado aproximadamente por la estrella Polar). La longitud, por el contrario, resultó mucho más difícil de calcular, ya que para obtenerla era preciso observar un mismo fenómeno celeste en dos puntos diferentes y extraer la diferencia horaria entre ambas observaciones.

Dado que el perfeccionamiento de la navegación y sus métodos comenzó a ser un objetivo prioritario en todos los países cuyos gobiernos orientaban su política hacia el fomento de los intereses comerciales en el otro lado del océano, no debe extrañarnos que el problema de la determinación de la longitud haya sido una de las empresas científicas más impulsadas desde los gobiernos a lo largo de la historia.

España, que había dado, junto a Portugal, los primeros pasos en el desarrollo de las navegaciones oceánicas y en la institucionalización de la náutica, tomó también la iniciativa en este punto. La imperiosa necesidad de encontrar una solución satisfactoria al problema de la longitud movió a la Corona española a convocar un concurso de carácter internacional en 1598, prometiendo, a quien presentase un método para determinar la longitud seguro, preciso y practicable en la mar, una renta perpetua de seis mil ducados y otra vitalicia de dos mil.

La convocatoria estuvo vigente durante los reinados de Felipe III y Felipe IV. En el concurso participaron numerosos personajes de toda Europa. Entre ellos cabría destacar a Jean Morin, Galileo o Miguel Florencio Van Langren. El primero de ellos propuso la observación de las distancias lunares, un método ya descrito con anterioridad por otros autores que no sería viable hasta la segunda mitad del siglo XVIII. Sobre Galileo, con su método basado en la observación de los satélites de Júpiter, y Van Langren, partidario de observar los eclipses de Luna, trataremos con detenimiento más adelante. Otros estudiosos participantes en la convocatoria, durante el largo período en que estuvo vigente, fueron Juan Arias de Loyola, Luis de Fonseca Coutinho, Lorenzo Ferrer Maldonado, Juan Martínez, Jean Mayllard, José de Moura y Jerónimo Ayanz [3].

La iniciativa tomada por España fue secundada posteriormente por los Países Bajos, Francia e Inglaterra, que también ofrecieron importantes beneficios para aquella persona que solucionase el problema. El debate sobre el método válido para hallar la longitud en el mar estuvo en la base de hitos tan importantes para la historia de la astronomía como la creación del Real Observatorio de Greenwich, entre cuyos objetivos fundacionales estaba el impulsar las investigaciones para solucionar el citado problema. En Inglaterra, el Parlamento ofreció un premio de diez mil libras esterlinas a quien presentase un método que proporcionase el valor de la longitud en el mar con la precisión de un grado, quince mil libras para una precisión de dos tercios de grado y veinte mil si ésta era sólo de medio grado. Para valorar las posibles soluciones presentadas se creó el Board of Longitude, una especie de comisión encargada de examinar las distintas propuestas y de subvencionar los proyectos considerados como más importantes.

Las primeras iniciativas para buscar un método que resolviera el problema de la determinación de la longitud partieron de los astrónomos. En el siglo XVI, el cosmógrafo español Juan López de Velasco planteó un proyecto para determinar la latitud y la longitud de diversos lugares españoles y americanos con la intención de realizar un le-

[3] Los datos sobre los participantes en la convocatoria española fueron publicados por E. Fernández de Navarrete en «Memorias sobre las tentativas hechas y premios ofrecidos en España al que resolviera el problema de la longitud en la mar»: *Colección de documentos inéditos para la historia de España*, tomo XXI, Madrid, 1852.

vantamiento cartográfico exacto de los territorios de la Corona. El método propuesto se basaba en la observación de los eclipses de Sol y de Luna que, al ser realizados con exactitud de forma simultánea en diversos lugares, permitiría establecer fácilmente las posiciones geográficas. El proyecto de López de Velasco pretendía que se realizasen observaciones simultáneas de los eclipses de Sol previstos para los años 1577, 1578 y 1584.

Entre las iniciativas presentadas al concurso convocado por la Corona española habría que hacer mención, por la relevancia de su protagonista, a la de Galileo, que ofreció su anteojo y la posibilidad de utilizarlo en un método basado en la observación de las efemérides de los satélites de Júpiter que él mismo acababa de localizar. El descubrimiento de estos satélites y de sus eclipses diarios abrió una vía de investigación que necesitaba de la elaboración de las efemérides de estos cuerpos celestes. Sin embargo, este trabajo resultó mucho más complicado de lo que se había pensado en un principio. Además, una vez conseguidas estas efemérides, el método de Galileo, a pesar de revelar una gran eficacia en tierra firme, evidenció grandes dificultades para poder ser aplicado con éxito en alta mar.

Otro de los métodos propuestos que merece ser destacado por su originalidad fue el basado en la observación de los montes y accidentes geográficos de la Luna, propuesto por el belga Miguel Florencio van Langren (1600-1675). Este personaje fue nombrado hacia 1628 matemático y cosmógrafo del rey en Flandes. En España, el rey mostró bastante interés por los trabajos del belga, con el que llegó a realizar algunas observaciones astronómicas utilizando su telescopio. El método propuesto por Van Langren fue aprobado por Jean Charles de la Faille, profesor del Colegio Imperial de Madrid, y Lorenzo Ramírez de Prado, miembro del Consejo de Castilla. Sin embargo, la actitud contraria del secretario del Consejo Real de Indias, Fernando de Contreras, que esperó dieciséis meses para proponer la memoria que el belga había llevado a Madrid consigo, influyó, al parecer, en el hecho de que no se tomase ninguna decisión al respecto. Dada la situación, Van Langren optó por no explicar totalmente su método hasta no estar seguro de recibir la recompensa ofrecida en el concurso, volviendo a Bruselas después de mandar imprimir unas *Advertencias de Miguel Florencio van Langren, matemático de su magestad, a todos los professores y amadores de la matemática tocantes a la proposición de la longitud por mar y tierra que*

ha hecho a su magestad católica (Madrid, febrero de 1634). Jean Charles de la Faille quedó encargado de repartir en la Corte las mencionadas *Advertencias*, además de llevar a cabo las gestiones para conseguir que le fuese concedido el premio prometido por la Corona.

Miguel Florencio van Langren no explicó nunca con detalle su método para determinar la longitud en el mar. Sin embargo, numerosos astrónomos del siglo XVIII, entre los que podríamos citar a Weidler, Bailly o Lalande, lo estudiaron y manifestaron sus objeciones al mismo. Diez años después de haber estado en Madrid, cuando la posibilidad de recibir el premio había desaparecido casi totalmente, publicó en Bruselas una obra en castellano titulada *La verdadera longitud por mar y tierra: demostrada y dedicada a S Magd Catholica Philippo IV, por Miguel Florencio Van Langren, cosmógrafo y mathematico de Su Magd en Flandes. Con las censuras y pareceres de algunos renombrados y famosos mathematicos deste siglo, que van puestos en orden de las fechas de sus dichas aprobaciones.* La solución al problema propuesta por Van Langren fue la siguiente: teniendo en cuenta que los fenómenos celestes se observan a diferente hora local, dependiendo del lugar de observación, se trataba de averiguar la diferencia de longitud de un punto cualquiera con otro en el que ésta ya era conocida, por medio de la observación de las fases de la Luna. Durante dichas fases se observaría la aparición o desaparición de los diversos accidentes geográficos de la superficie lunar. Según Van Langren, sería suficiente poseer unas tablas precisas de los movimientos de la Luna para fijar los momentos de estos fenómenos para un meridiano determinado. De esta forma, los navegantes, tras anotar las diferencias de tiempo, podrían deducir la diferencia de longitud entre la posición de la nave y la del punto en que ésta ya se conocía.

Sin embargo, este método no era tan sencillo como su autor había imaginado inicialmente. Las tablas de la Luna que el método requería eran difíciles de confeccionar, y, además, aún no existía un mapa completo de la superficie lunar y una nomenclatura para sus accidentes geográficos. A ello habría que añadir, y éste fue el principal fallo del método, que la aparición y desaparición de los cráteres y montañas lunares conforme el Sol los iluminaba o se escondía, no producían, en el momento de la observación, una señal instantánea y precisa, lo que influía directamente en la imprecisión de los resultados de la medida del tiempo y, por lo tanto, en la determinación de la dife-

rencia de longitud. No obstante, aunque el método propuesto por Van Langren resultaba impracticable en la mar, contribuyó de forma importante al aumento de las observaciones astronómicas de la Luna y a la fijación de diversas posiciones geográficas en tierra firme, además de servir como punto de partida para la elaboración del primer mapa de la Luna con una nomenclatura de los accidentes geográficos de su superficie [4].

Directamente relacionado con el problema de la determinación de la longitud estaba la necesidad de elegir un meridiano de origen para el cómputo de esta coordenada y para la elaboración de la cartografía. Como ya sabemos, la posición geográfica de cualquier punto del planeta tiene que ser establecida mediante la determinación de la latitud y la longitud. Contrariamente a lo ocurrido con la latitud, bastante fácil de determinar, la longitud fue causa de muchos problemas, tanto por las dificultades que conlleva su cálculo, como por la necesidad de unificar los valores de partida. No existía ninguna razón científica para preferir un determinado meridiano como punto de partida en el cómputo de las longitudes (Primer Meridiano), de ahí que durante mucho tiempo fuesen empleados por astrónomos, navegantes y geógrafos distintos meridianos de origen. De todas formas, el problema planteado por el uso de diversos meridianos iniciales no hubiera sido tal si la diferencia de longitud entre todos ellos fuese conocida exactamente. Entonces, la solución hubiera sido fácil, pues simplemente habría que sumar o restar a las determinaciones realizadas un número constante. Sin embargo, los errores en tales determinaciones fueron habituales en el pasado, lo cual contribuyó siempre a la generalización de resultados equivocados en este tipo de operaciones.

Sin embargo, a pesar de que su solución era relativamente fácil, el problema de la elección del primer meridiano se mantuvo en esta situación durante mucho tiempo, debido a factores nacionalistas basados en el presunto prestigio que pudiese reportar a una nación el hecho de que en ella se determinase el meridiano cero.

Desde la Antigüedad fueron utilizados numerosos meridianos como línea de referencia. Ptolomeo utilizó un meridiano situado me-

[4] Véase F. J. González, «Plenilunii Lumina Austriaca Philippica: El mapa de la Luna de Miguel Florencio Van Langren (1645)», *Revista de Historia Naval*, 13 (1986), pp. 99-110.

dio grado al Oeste de Canarias. Siglos después, los árabes prefirieron hacer pasar el primer meridiano por el estrecho de Gibraltar. Durante el siglo XIII, época de Alfonso X de Castilla y de las conocidas tablas alfonsinas, el meridiano de origen fue Toledo. A raíz de los grandes descubrimientos y navegaciones del siglo XV, los enfrentamientos entre españoles y portugueses por cuestiones territoriales dieron lugar al establecimiento de una línea de demarcación, que pronto fue utilizada como un verdadero meridiano cero. En el siglo XVI, el célebre geógrafo Mercator introdujo el uso de un nuevo primer meridiano, el de las Azores. Los franceses, un siglo después, comenzaron a elaborar sus cartas respecto al meridiano que pasa por la isla del Hierro, que con los cálculos de la época estaba situado 20° al Oeste del meridiano del Observatorio de París. Mientras tanto, los británicos hicieron pasar su primer meridiano por el recién fundado Observatorio de Greenwich. Este tipo de determinaciones fue tomada también por otros Estados europeos, entre ellos España, que durante la segunda mitad del siglo XVIII, estableció su primer meridiano en Cádiz, donde en 1753 había sido fundado el Real Observatorio.

Durante el siglo XIX cada nación continuó utilizando su propio meridiano, aunque la mayoría de las cartas publicadas y utilizadas por los navegantes se referían al de Greenwich. Esta diversidad era motivo de problemas, pues geógrafos, astrónomos y marinos necesitaban fijar su posición en el globo, para lo cual tenían que utilizar tablas precisas del movimiento de los astros, referidas siempre a un meridiano conocido. A ello habría que añadir, además, que las efemérides astronómicas publicadas por cada nación estuviesen referidas al meridiano del observatorio en el que habían sido calculadas, meridiano que no siempre coincidía con el de las cartas utilizadas para la navegación.

dio, pasado el Cabo de Canarias. Siglos después, los árabes musulmanes hacen pasar el primer meridiano por el extremo de Gibraltar. Durante el siglo XIII, época de Alfonso X de Castilla y de las Tablas Alfonsinas, el meridiano de origen fue Toledo. A raíz de los grandes descubrimientos y navegaciones del siglo XV, los enfrentamientos entre españoles y portugueses por derechos territoriales dieron lugar al establecimiento de una línea de demarcación, que puede ser utilizada como un verdadero meridiano cero. En el siglo XVI, el célebre geógrafo Mercator introdujo el uso de un nuevo primer meridiano, el de las Azores. Los franceses, un siglo después, comenzaron a elaborar sus cartas tomando el meridiano que pasa por la isla de Hierro, que como los

cos, entre ellos España, que durante la segunda mitad del siglo XVIII cambió su primer meridiano a Cádiz, donde en 1753 había sido fundado el Real Observatorio.

Durante el siglo XIX cada nación continuó utilizando su propio meridiano, aunque la mayoría de las cartas portulanas [illegible] los navegantes [illegible] al de Greenwich. Esta diversidad era fuente de problemas, tanto geográficos, astronómicos y náuticos, [illegible] la posición en el globo, [illegible] el tiempo [illegible] del movimiento de los astros, referidas siempre a un meridiano conocido, y esto hacía que fuera [illegible] que las efemérides astronómicas publicadas por cada nación [illegible] el meridiano del observatorio [illegible]

III

LA SITUACIÓN DE LA NÁUTICA

La náutica española en el siglo xvii

La náutica es, posiblemente, la única de las técnicas relacionada con la vertiente matemática, física y astronómica de las ciencias que puede acogerse sin demasiados problemas a la periodificación establecida por algunos autores para el desarrollo del movimiento renovador de la ciencia española en el siglo xvii. Ello nos permite distinguir tres fases bien diferenciadas en la evolución de la náutica en España a lo largo de dicha centuria:

1. Un primer tercio de siglo en el que continúa la vigencia de las grandes obras hechas por los españoles en el Renacimiento. Incluso a nivel europeo se siguen utilizando, a menudo, las traducciones de las obras de Pedro de Medina y Martín Cortés.
2. Unos años centrales en los que la rica tradición anterior desaparece bruscamente y los estudios náuticos entran en una profunda crisis, desapareciendo hasta de la Casa de la Contratación de Sevilla, institución clave, como hemos visto, en el desarrollo de la cosmografía y de la náutica durante el siglo xvi.
3. Una parte final de la centuria caracterizada por un cierto resurgir de los trabajos dedicados a la navegación, y por la creación de nuevos centros docentes para la formación de los pilotos.

Mientras la astronomía registraba importantísimos progresos a lo largo del siglo xvii, las técnicas de navegación no consiguieron realizar avances importantes respecto a lo que ya se conocía desde épocas anteriores. La latitud era determinada mediante la observación de las al-

Regimiento de

Sigueſe la figura de la Balleſtilla, con ſu tranſuerſario.

LA Vara, a b, ha de ſer muy derecha, y de buena madera, como de peral, o ſerual, para que ſe pueda bien medir y graduar: y el tranſuerſario, c d, ha de correr muy juſto por la vara, a b, y que haga angulos rectos con ella.

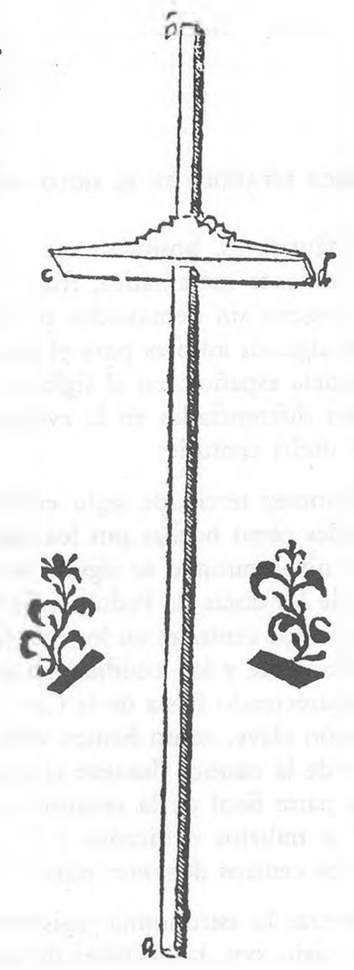


Figura 13. Figura y representación de una ballestina, incluida en el tratado de Andrés García de Céspedes.

turas del Sol y de la estrella Polar. La determinación de la longitud en la mar seguía sin tener un método preciso, que no fuese el de la navegación a la estima.

No obstante, las grandes navegaciones transoceánicas trajeron consigo importantes cambios en los aspectos técnicos del arte de navegar. La necesidad de largos períodos de navegación en alta mar exigió la aparición de nuevos métodos para fijar la posición de los buques y para llevar a cabo las nuevas derrotas de una forma segura. Estos cambios afectaron también a la formación del personal que debía realizar dichas navegaciones. Los pilotos habían navegado tradicionalmente siguiendo las costas o haciendo singladuras cortas en el Mediterráneo, por lo que se hizo evidente la necesidad de tomar una serie de medidas conducentes a situar sus conocimientos a la altura de las nuevas necesidades.

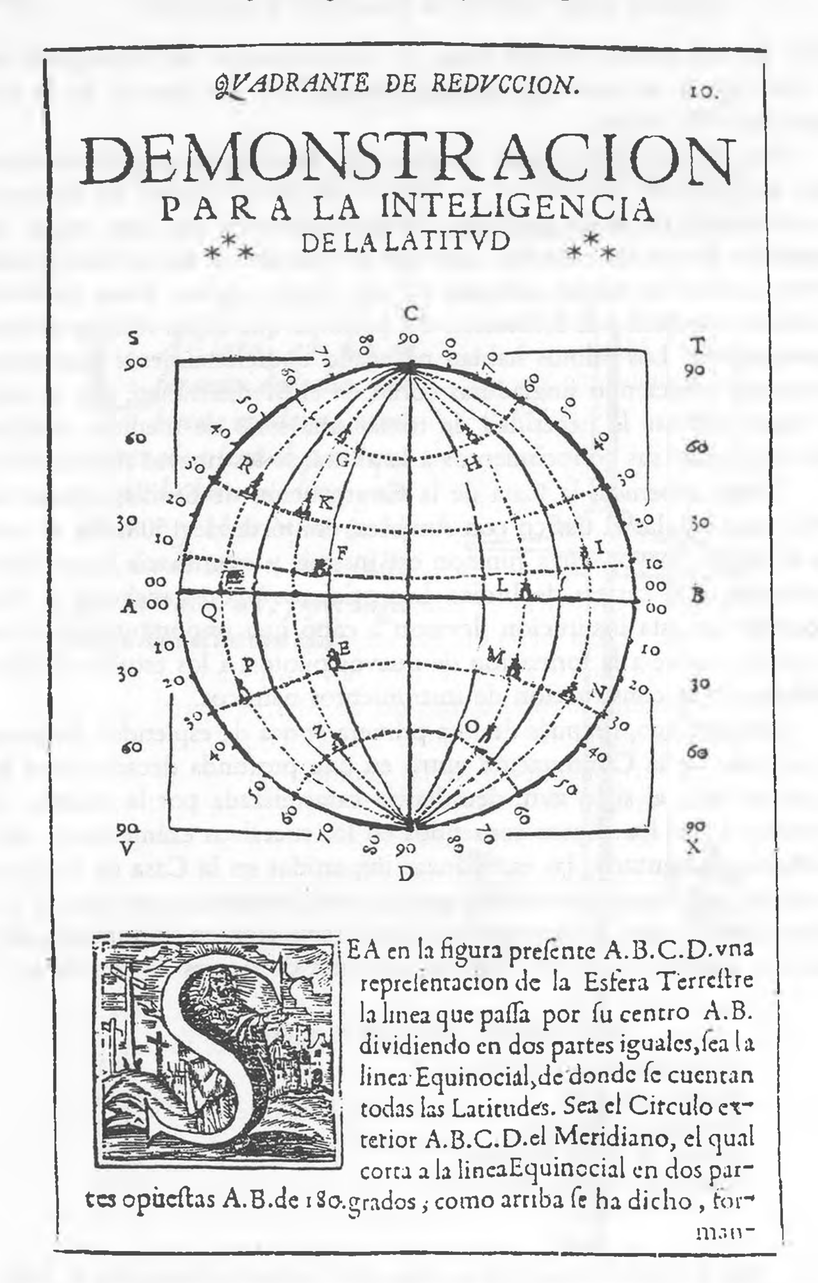
Como sabemos, la Casa de la Contratación de Sevilla, creada en 1503 para regular el tráfico con América, contó desde 1508 con el cargo de piloto mayor, cuya función era instruir y examinar a los pilotos destinados a la carrera de Indias. Los primeros pilotos mayores y cosmógrafos de esta institución llevaron a cabo una importante labor en lo que se refiere a la formación de nuevos pilotos, a los estudios hidrográficos y a la construcción de instrumentos náuticos.

Sin embargo, después de una primera época de esplendor, la labor de la Casa de la Contratación entró en una profunda decadencia a lo largo de todo el siglo XVII, decadencia caracterizada por la escasez de alumnos y por los abusos cometidos en los sucesivos exámenes. A mediados de la centuria, las enseñanzas impartidas en la Casa de la Contratación, que años atrás habían estado estructuradas en un plan de estudios de tres años, sufrieron una drástica reducción en su duración, llegando a ser impartidas en períodos docentes de menos de tres meses [5].

Pilotos Mayores nombrados en el siglo XVII

Diego Ramírez de Arellano	1621
Antonio Moreno	1625
Francisco de Ruesta	1633
Alonso de Bacas Montoya	1692
Francisco Antonio de Orbe	1694

[5] Véase J. Pulido Rubio, *El Piloto Mayor de la Casa de la Contratación de Sevilla*, Sevilla, 1950.



QVADRANTE DE REDVCCION. 10.

DEMONSTRACION
PARA LA INTELIGENCIA
DE LA LATITVD

SEA en la figura preſente A.B.C.D. vna repreſentacion de la Eſfera Terreſtre la linea que paſſa por ſu centro A.B. dividiendo en dos partes iguales, ſea la linea Equinocial, de donde ſe cuentan todas las Latitudes. Sea el Circulo exterior A.B.C.D. el Meridiano, el qual corta a la linea Equinocial en dos partes opueſtas A.B. de 180. grados; como arriba ſe ha dicho, forman-

Figura 14. Página del *Norte de la navegación*, fray Antonio de Gaztañeta.

Cosmógrafos nombrados en el siglo XVII

Antonio Moreno	1603
Juan Herrera de Aguilar	1635
Sebastián de Ruesta	1652
Miguel Suero	1674
Manuel Salvador Barreto	1680

Catedráticos de Cosmografía y Navegación

Antonio Moreno	1612
Lucas Guillén de Veas	1635
Rodrigo Zamorano de Oceta	1636
Francisco de Ruesta	1645
Juan de Saavedra	1658
Alonso de Bacas Montoya	1668
Francisco Antonio de Orbe	1707

A pesar de la evidencia de esta crisis en las cuestiones náuticas, el resto de Europa seguía basando sus conocimientos sobre navegación en los avances aportados a esta técnica por los españoles y los portugueses. En Inglaterra, donde el tratado de Martín Cortés seguía siendo utilizado con asiduidad, las obras de William Borough y Edward Wrigth y el perfeccionamiento de la corredera servían de avance a las importantes aportaciones británicas a la navegación del siglo XVIII. Mientras en Francia continuaba editándose el *Arte de navegar* de Pedro de Medina, obra preferida de los navegantes galos, en los Países Bajos tampoco destacó en el siglo XVII ningún teórico de la náutica, aunque sí debemos hacer mención del desarrollo registrado por la cartografía grabada.

Se puede afirmar, pues, que la navegación fue uno de los aspectos que más rápidamente comenzó a resentirse de la profunda crisis de la España del XVII. La organización de una fuerza naval que pudiese participar con eficacia en los numerosos conflictos bélicos de la época y cuidar de los extensos dominios españoles se convirtió entonces en una tarea bastante complicada. La falta de hombres, tanto pilotos y capitanes como marineros, se notó más pronto en los barcos que en otros lugares. Ya había pasado la época de los grandes entusiasmos descubridores y la vida en la mar aún seguía caracterizada por su dureza, sus grandes riesgos y sus dificultades.

A mediados del siglo XVII, la situación de la fuerza naval española era bastante negativa. Por un lado, las escuadras del Atlántico fueron destruidas en la batalla de las Dunas (1639), tras la cual España dejaría de ser considerada como una potencia naval de importancia. Por otro lado, la necesidad de organizar y dotar las flotas necesarias para comunicar los territorios españoles en ultramar con la Península se vio obstruida constantemente por la escasez y la mala preparación de los pilotos, lo que daría lugar a que la contratación de marinos portugueses o flamencos para maniobrar embarcaciones españolas se convirtiese en un hecho frecuente.

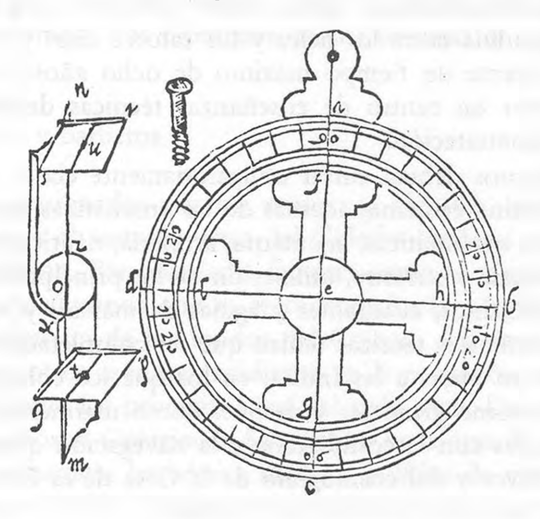
Esta necesidad de pilotos se hizo notar con más intensidad que en ningún otro lugar en el puerto de Sevilla, punto de partida y de llegada del comercio y las comunicaciones transoceánicas. La decadencia de los estudios náuticos, que en el siglo XVI habían sido una de las funciones características de la Casa de la Contratación, dio lugar a que se sucedieran los intentos para establecer un centro de formación de pilotos que sirviese para paliar en alguna medida la deficiente actuación docente de la mencionada institución.

La creación del Real Colegio de San Telmo

La idea de fundar una institución donde acoger y educar huérfanos, proporcionándoles una formación que les preparase para ejercer empleos marineros en los buques de la carrera de Indias, surgió en fechas muy anteriores a las de su definitiva creación. En 1539, Fernando Colón propuso la idea de establecer en Sevilla un colegio para la enseñanza de las matemáticas y la marinería. La necesidad de personal para las flotas, característica del siglo XVII, dio lugar a que, durante los reinados de Felipe III y Felipe IV, se sucedieran los proyectos para establecer una institución de enseñanzas náuticas. En 1607 le fue encargada al duque de Medina-Sidonia la creación de un seminario para recoger los huérfanos y prepararlos para ser embarcados en los galeones. Sin embargo, este proyecto no pudo ser llevado a cabo. La Universidad de Mareantes, hermandad gremial formada por los dueños, capitanes, maestros y pilotos de los navíos mercantes, recibió el encargo de la Casa de la Contratación de fundar en Sevilla un seminario en 1628, pero la falta de dinero dejó en el olvido a esta nueva iniciativa. Otras

Regimiento de
ſus numeros, de 10. en 10, ò de 5. en 5. començando del punto, b; y del punto, d, para el punto, a, que es donde eſtà el ſuſpenſorio. Los Portugueſes comiençã la numeracion del punto, a, para el punto, b. En eſto no ay incõueniente, porq̃ los vnos toman la altura del Sol ſobre el Orizonte, y los otros la diſtancia del Zenit al Sol: y porque la vna es complemento de la otra, todo ſale a vna cuenta, ſaluo que las reglas de los regimientos que mandan que ſe quite, o ſe añada la declinacion, proceden diferentemente, como ſe tratò en ſu lugar.

El circulo donde eſtan eſtos numeros, tiene de ancho mas de vna pulgada, y de grueſſo otro tanto. Eſtà ſuſtentado en la cruz, f g, h l, q̃ es del meſmo grueſſo, y ancho: tiene de peſo. 8. libras, poco mas o menos. En el ſuſpẽſorio, a, tiene vn agugero por donde ſe le mete vna ſortija,



de donde ſe cuelga. Tiene vna alidada, q̃ los Marineros llaman Declina, que es de la figura que aqui ſe pone, en la qual

Figura 15. «Astrolabio de los pilotos», según Andrés García de Céspedes.

gestiones sin éxito se sucederían en este sentido hasta que, en 1679, el Consejo de Indias instó al Consulado de Comercio y a la Universidad de Mareantes para que procediesen a la fundación de un colegio de este tipo en Sevilla. Después de superar numerosas dificultades presupuestarias y burocráticas, el proyecto formulado por el Consejo de Indias se vio plasmado definitivamente en las dos cédulas de Carlos II que instituyeron el Real Colegio Seminario de San Telmo [6].

El edificio que debía albergar al Colegio comenzó a ser construido en 1682 y, aunque en 1702 ya estaba finalizada una gran parte del edificio, las obras continuaron hasta 1724, fecha en la que fue terminada la iglesia. En la cédula fundacional del Colegio se estableció que su alumnado debía proceder de los muchachos huérfanos y desamparados de Sevilla. La idea original era que, además de procurarles una educación básica, se les ofreciera la oportunidad de aprender las técnicas de la marinería, el pilotaje o la artillería. Las enseñanzas impartidas en el centro debían ser teóricas y prácticas. Los alumnos admitidos debían ser aproximadamente unos ciento cincuenta, ingresar con una edad comprendida entre los ocho y los catorce años y permanecer en la escuela durante un tiempo máximo de ocho años. Se trataba, por tanto, de crear un centro de enseñanzas técnicas dependiente de la Casa de la Contratación.

Los alumnos debían cursar obligatoriamente clases de lectura, escritura y doctrina cristiana, además de las enseñanzas técnicas específicas referidas a matemáticas, geometría, artillería, náutica, explicación de los globos celeste y terrestre, utilización de los principales instrumentos náuticos (astrolabios, cuadrantes y agujas de marear) y manejo de cartas. Estas enseñanzas teóricas tenían que ser completadas con la práctica adquirida en viajes a las Indias, en los que los colegiales participaban primero como grumetes y después como marineros. Las enseñanzas relacionadas con la cosmografía y la navegación quedaban a cargo del piloto mayor y del cosmógrafo de la Casa de la Contratación. De

[6] Sobre la fundación del Real Colegio Seminario de San Telmo de Sevilla pueden consultarse los trabajos de F. de las Barras Aragón, «Circunstancias que motivaron la fundación del Colegio de San Telmo de Sevilla»: *Estudios sobre la ciencia española del siglo XVII*, Madrid, 1935; A. Herrera García, «Estudio histórico sobre el Real Colegio Seminario de San Telmo de Sevilla»: *Archivo Hispalense*, XVIII (1958), 233-266 y XXIX (1958), pp. 48-76.

esta forma, el Colegio de San Telmo se convirtió en un centro de estudios náuticos que pretendía llenar el hueco dejado por el incumplimiento de las funciones docentes de la Casa de la Contratación.

La plantilla del Colegio de San Telmo era bastante abundante. Estaba formada por dos tipos de personal, el residente en las instalaciones del Colegio y el que habitaba fuera. Su composición era la siguiente:

Personal con alojamiento y ración

—dos capellanes
—un maestro y su ayudante
—un mayordomo proveedor y su ayudante
—un ropero
—un enfermero
—un cocinero y su ayudante

Personal externo

—un mayordomo y dos diputados de la Universidad
—un contador
—un médico
—un cirujano y barberos

Los gastos ocasionados por tan numerosa plantilla causaron problemas económicos al sostenimiento del Colegio desde el mismo momento de su creación. Por otro lado, factores como la admisión de un número mayor de alumnos que el recomendado, la construcción del edificio o la utilización de los fondos del Colegio por parte de la administración para otros asuntos, incidieron en la evolución negativa de la institución durante los primeros años del siglo XVIII. De esta forma, aunque en esos años el Colegio de San Telmo sería uno de los pilares en los que la monarquía borbónica basó su política de renovación y reactivación de la Marina, conforme iban pasando los años la calidad de las enseñanzas fue empeorando. Este proceso fue paralelo a la pérdida de protagonismo del Colegio, a raíz del traslado a Cádiz de la Casa de la Contratación y de la fundación, también en esta misma ciudad, de la Academia de Guardias Marinas.

Parece ser que, además de la crisis económica, el Colegio también atravesó pronto sus primeras crisis relacionadas con las enseñanzas que

en él se impartían. A principios del XVIII el único profesor de matemáticas del Colegio era Pedro Manuel Cedillo y las visitas de los cosmógrafos de la Casa de la Contratación fueron bastante escasas. Si a ello añadimos que los alumnos pasaban rápidamente por el centro para iniciar los viajes de prácticas, podríamos afirmar, siguiendo a los profesores Sellés y Lafuente, que la formación náutica recibida por los pilotos era más bien escasa y que el Colegio estaba siendo utilizado por la Universidad de Mareantes de Sevilla para conseguir mano de obra barata con la que dotar a los navíos de la carrera de Indias.

Embarcaciones usadas por los españoles en el siglo XVII

El desarrollo de las navegaciones transoceánicas y la progresiva extensión de las posesiones españolas durante el siglo precedente hicieron surgir la necesidad de construir unos buques capaces de asegurar el dominio del Atlántico a la Corona Española. Estos barcos tenían que conjugar las condiciones marineras de seguridad y maniobrabilidad exigidas por la travesía del océano con la adaptación a una situación de defensa naval que necesitaba movilidad estratégica y potente artillería. El fruto de estos planteamientos fue el galeón, cuyas características fueron desarrollándose en diversas fases a lo largo de los siglos XVI y XVII. El galeón no fue, por lo tanto, un buque de nueva planta y diferente de los anteriores, sino el resultado de la lógica evolución de naos y carracas (castillos de proa y de popa, casco bastante ancho, popa redonda y aparejo de dos palos principales). Sus funciones eran, por un lado, el establecimiento de una fuerza naval para el dominio del mar y, por otro lado, la defensa y protección de las flotas que comunicaban la Península Ibérica con América. Sin embargo, los diversos estudiosos del tema no se han puesto de acuerdo sobre la existencia de una norma para la construcción de este tipo de embarcaciones, al menos en el siglo XVI. Parece ser que, en un primer momento, se daba el nombre de galeón a todos aquellos buques caracterizados por un mayor porte y por estar preparados para el combate.

A fines del siglo XVI, el aumento del poder naval de holandeses e ingleses dio lugar a la construcción de grandes galeones, entre los que podría ser citado el San Martín, buque insignia de la Gran Armada, característico por su solidez y potencia. No obstante, como se podría

comprobar en el combate naval, le faltaba a este tipo de barcos la agilidad y maniobrabilidad para hacer frente a las pequeñas embarcaciones inglesas (fly-boats, filibotes), naves con menos de doscientas toneladas de porte y arboladura de dos palos, muy artilladas y de fácil maniobra.

Hasta 1613 no se produjo la primera tentativa seria para normalizar las características de los buques españoles y de sus arboladuras. Ello ocurrió en una Junta celebrada en la Corte para modificar las ordenanzas de 1607 sobre la fabricación de buques mercantes y de guerra. De esta reunión salió una lista con los portes (en toneles) que podrían tener los siguientes tipos de embarcaciones:

Pataches: 10,5 - 55 - 94,5.
Navíos: 148 - 207 y 3/4 - 258 y 3/8.
Galeoncetes: 316.
Galeones «de merchante»: 381 y 3/4 - 456 - 539 - 632 - 721 y 3/4 - 833 y 5/8 - 956 y 5/8 - 1073 y 1/3.
Galeones «de armada»: 15 ó 20 toneladas más que los anteriores.

Poco después, en 1618, fueron reformadas de nuevo las ordenanzas antes citadas con el fin de adaptarlas a la navegación a las Indias y al paso de las barras de Sanlúcar de Barrameda y de San Juan de Ulúa. A partir de entonces, el término «navío» se hizo genérico para llamar a los barcos, mientras que el término «galeón» fue identificándose progresivamente con los buques conocidos como galeón de guerra o galeón de armada. Durante esta primera parte del siglo XVII, se procedió a la estructuración de la fuerza naval española, que quedaría integrada por las siguientes formaciones:

— Armada del Mar Océano (56 galeones), con base en Lisboa y La Coruña y destinada a cubrir el Atlántico Norte.
— Armada del Almirantazgo de Dunquerque (22 galeones), destinada a cubrir el Canal de la Mancha y el Mar del Norte.
— Armada de la Carrera de Indias (6 galeones), con base en Lisboa y La Coruña y encargada de vigilar la zona de las islas Azores.
— Armada de Barlovento (12 galeones), basada en los puertos de La Habana y Cartagena de Indias y destinada a cubrir el Golfo de México y el Caribe.
— Escuadra del Pacífico (4 galeones), con base en El Callao y destinada a las costas americanas del océano Pacífico.

- Escuadra de la Guarda del Estrecho (18 buques, entre galeones y galeras), con base en Cádiz.
- Escuadra de Galeras de España (20 galeras), basada en Cartagena y destinada a cubrir el mar de Alborán.
- Escuadra de Galeras del Duque de Tursi (12 galeras), con base en el puerto de Génova y destinada al Golfo de León.
- Escuadra de Nápoles y Sicilia (42 galeras), con base en Nápoles y destinada al Mediterráneo Central.
- Escuadra de Pancos y Galeras de Filipinas (10 embarcaciones), con base en Manila, para el control de las costas del archipiélago filipino.

IV

LOS PRINCIPALES LIBROS DE NÁUTICA

Siguiendo el esquema aplicado en el estudio de la náutica en el siglo XVI incluido en la primera parte de este libro, analizaremos a continuación algunos de los más destacados libros de esta materia publicados en España durante la decimoséptima centuria. El reparto cronológico de las obras comentadas más abajo nos indica claramente la existencia de dos períodos en el desarrollo de la náutica española, en la época de los Austrias. Durante el primer tercio del siglo fueron publicados unos tratados similares a los editados al final del período precedente, es decir, tratados de navegación dirigidos al manejo de los pilotos de la carrera de Indias y bastante menos profundos que las dos grandes obras de Medina y Cortés. A partir de 1628, fecha de la publicación de la *Navegación especulativa y práctica* de Antonio de Nájera, se inició un largo período de sesenta años en los que no destaca ninguna obra sobre navegación. El movimiento renovador que afectó a la ciencia española se dejó notar también en la náutica, disciplina que pudo contar en los últimos años del siglo XVII con las interesantes obras de Seixas y Gaztañeta.

Arte de la navegación

Pedro de Siria
Valencia, J. Crisóstomo Garriz, 1602.

Pedro de Siria vivió durante el reinado de Felipe III y es conocido, sobre todo, por ser autor de este libro de navegación que fue publicado en 1602. Poco se sabe sobre su vida, aparte de que ejerció

como catedrático de Leyes, cargo al que renunció para ejercer la abogacía de forma particular y para dedicarse a las matemáticas y a la náutica. Aunque carecía de experiencia en el mar, su prestigio en cuestiones náuticas llegó a tal punto que Felipe III le ofreció el puesto de piloto mayor de la Casa de la Contratación, cargo que no llegó a ocupar debido a su avanzada edad y a su delicado estado de salud.

Merece la pena que reflejemos aquí el título completo del libro de Pedro de Siria, pues al ser bastante extenso puede servir para darnos una idea de su contenido: *Arte de la navegación en que se trata de la machina del mundo, es a saber: cielos y elementos; de las mareas y señales de tempestades; del aguja de marear; del método de hacer cartas de navegar; del uso dellas, de la declinación y rodeo que comúnmente hazen los pilotos; del modo verdadero de navegar por círculo menor, por línea recta sin declinación ni rodeo; el modo como se sabrá el camino e leguas que ha navegado el piloto por cualquier rumbo, y últimamente el saber tomar la altura del polo.*

Regimiento de navegación

Andrés García de Céspedes (?-1611)
Madrid, Juan de la Cuesta, 1606.

García de Céspedes fue conocido en su época por su habilidad para diseñar y construir aparatos científicos. Durante algún tiempo permaneció en Sevilla como piloto mayor de la Casa de la Contratación, donde colaboró en la construcción y corrección de instrumentos náuticos. El origen del *Regimiento de navegación* radica en su nombramiento como cosmógrafo del Consejo de Indias (1598), institución que le encargó la elaboración de un tratado con el que corregir los errores más habituales en la navegación a las Indias. Publicó, además, un *Libro de instrumentos nuevos de geometría* (Madrid, 1606) y dejó manuscritos algunos textos sobre astronomía, ciencia que, al parecer, le atraía bastante. García de Céspedes escribió sobre diversas materias científicas (hidrografía, relojes de Sol, movimientos planetarios, perspectiva, mecánica) y destacó en su época por ser autor de un proyecto para instalar en El Escorial un gran observatorio astronómico, donde los sabios de toda Europa pudiesen llevar a cabo sus observaciones.

El *Regimiento de navegación* es uno de los más importantes tratados de náutica redactados en la España del siglo XVII. En él se pueden adi-



Figura 16. Portada del *Regimiento de navegación*, de Andrés García de Céspedes (Madrid, 1606).

vinar las influencias del portugués Pedro Núñez, de Nicolás Copérnico y, sobre todo, de Tycho Brahe. La obra consta de dos partes bien diferenciadas, el tratado de navegación propiamente dicho y un estudio de la hidrografía. En la primera parte, García de Céspedes trata de explicar las observaciones astronómicas y los instrumentos náuticos más convenientes para llevar a cabo una navegación lo más perfecta posible. La segunda parte se centra principalmente en las instrucciones para elaborar una carta de navegar.

ARTE PARA FABRICAR, FORTIFICAR, Y APAREIAR NAOS DE GUERRA, Y MARCHANTE

Thomé Cano (1545?-1618?)
Sevilla, Luis Estupiñán, 1611.

Thomé Cano aprobó, hacia 1569, el examen de piloto de la carrera de Indias en la Casa de la Contratación de Sevilla. Realizó, a partir de entonces, numerosos viajes a América y alcanzó un notable prestigio como técnico, redactando informes sobre cuestiones náuticas a petición del Consejo de Indias y de la Casa de la Contratación. De todas formas, debe la mayor parte de su fama a la publicación de este libro, uno de los primeros textos sobre ingeniería naval que fueron impresos en el mundo.

Esta pequeña obra fue compuesta por Cano después de muchos años de navegación, con la intención de proporcionar unos datos útiles para la fabricación de barcos, ya que en sus malas condiciones de fabricación podían buscarse los orígenes de muchos defectos y naufragios. La obra está presentada en forma de diálogos entre tres amigos que, a lo largo de una serie de navegaciones, van tratando los temas que son objeto de la misma. «Porq(ue) assi fuese la materia mas desca(n)çada, apazible, e intelligible» (Al lector). De esta manera, el autor consigue dar un interesante repaso a la historia de los navíos, su fabricación, fortificación y medidas.

IMAGEN DEL MUNDO, SOBRE LA ESFERA, COSMOGRAFÍA, Y GEOGRAFÍA, TEÓRICA DE PLANETAS, Y ARTE DE NAVEGAR

Lorenzo Ferrer Maldonado (?-1625)
Alcalá, Juan García y Antonio Duplastre, 1626.

Lorenzo Ferrer fue un navegante y cosmógrafo español sobre cuyos descubrimientos se han suscitado numerosas controversias. Efectuó muchas navegaciones de exploración y descubrimientos, asegurando haber encontrado en una de ellas el estrecho de Aniam, que generalmente es tomado por el de Bering, aunque cabe también la posibilidad de que fuese llamado así alguno de los canales de la costa occidental de Alaska. Dejó escritas algunas obras, entre las que podrían citarse, además de la que aquí comentamos, la *Relación del descubrimiento del estrecho de Aniam* (Manuscrito, 1588) o el Memorial que presentó al Rey ofreciendo la Aguja Fija.

La *Imagen del mundo...* está dividida en ocho grandes capítulos y trata, esencialmente, de la astronomía según la teoría geocéntrica (los cielos, el mundo, el universo, los signos del zodiaco, los planetas, los eclipses). A continuación, además de aportar una descripción geográfica general, Lorenzo Ferrer incluyó en su libro una última parte dedicada específicamente al estudio de la hidrografía y del arte de navegar, en la que se tratan los temas propios de la navegación.

NAVEGACIÓN ESPECULATIVA Y PRÁCTICA, REFORMADAS SUS REGLAS Y TABLAS POR LAS OBSERVACIONES DE TYCHO BRAHE CON ENMIENDA DE ALGUNOS YERROS ESENCIALES

Antonio de Nájera
Lisboa, 1628.

Parece ser que Antonio de Nájera, nacido en Lisboa pero de origen español, sintió una fuerte inclinación por las matemáticas ya desde su juventud. Lo anticuado de los libros de texto utilizados en España para formar a los pilotos en el arte de navegar, le llevó a elaborar un trabajo con el que pretendía actualizar los conocimientos sobre navegación y corregir las tablas del Sol y de las estrellas fijas.

En 1628 fue publicada en Lisboa su *Navegación especulativa y práctica...*, que se divide esenciamente en tres partes:

1. Métodos e instrumentos para deducir la latitud. Por medio del Sol, con el astrolabio, o de las estrellas, con el cuadrante náutico.
2. Sobre los vientos y sobre la construcción y utilización de la aguja náutica.

THEATRO
NAVAL HYDROGRAPHICO,

DE LOS FLVXOS, Y REFLVXOS, Y DE LAS CORRIENTES DE LOS MARES, ESTRECHOS, ARCHIPIELAGOS, Y PASSAGES AQUALES DEL MUNDO, Y DE LAS DIFERENCIAS DE LAS VARIACIONES DE LA AGUJA DE MAREAR, Y EFECTOS DE LA LUNA, CON LOS VIENTOS GENERALES, Y PARTICVLARES QVE REYNAN EN LAS QUATRO REGIONES MARITIMAS DEL ORBE.

DIRIGIDO AL REY NUESTRO SEñOR, EN SV REAL CONSEJO de Indias, siendo Presidente en el, el Excelentissimo Señor Marquès de los Velez,&c.

COMPVESTO POR DON FRANCISCO de Seyxas y Lovera.



CON PRIVILEGIO

EN MADRID: Por Antonio de Zafra, Criado de su Magestad. Año de 1688.

Figura 17. Portada del libro de Francisco de Seixas (Madrid, 1688).

3. Sobre las cartas de marear, dándole una especial importancia a las cartas esféricas y aconsejando la navegación a la estima en el rumbo Este-Oeste, mientras no se pudiese contar con un método para calcular la longitud similar al ya existente para la latitud.

Nájera se lamentaba de la escasa formación científica de los pilotos y proporciona en su obra numerosas reglas para resolver algunos problemas astronómicos. Describió también un cuadrante náutico para observaciones nocturnas e incluyó en su trabajo unas tablas corregidas con las observaciones de Tycho Brahe y Kepler.

THEATRO NAVAL HYDROGRÁPHICO

Francisco de Seixas y Lovera
Madrid, Antonio de Zafra, 1688.

Desde muy joven, Francisco de Seixas estuvo navegando en barcos holandeses, franceses, portugueses y españoles, con los que recorrió buena parte del mundo. Durante este tiempo, desarrolló una gran actividad cartográfica y, además, tuvo tiempo para escribir algunas cosas sobre matemáticas y metalurgia. Puede decirse que, junto con Antonio de Gaztañeta, Seixas formó parte del grupo de estudiosos preocupado por la náutica que puede ser incluido dentro del movimiento científico renovador que se produjo en España al final del siglo XVII.

Tras veintiséis años de singladuras, este navegante gallego creyó llegado el momento de reunir en un libro todos los conocimientos que había adquirido en los temas náuticos, con la intención de que los marinos españoles no tuviesen que recurrir a las obras extranjeras. Su trabajo recoge, por lo tanto, los datos conocidos sobre hidrografía y navegación, enumerados por regiones, presentándonos el estudio de las mareas y corrientes, de las variaciones de la aguja y de los vientos.

NORTE DE LA NAVEGACIÓN HALLADO POR EL QUADRANTE DE REDUCCIÓN

Antonio de Gaztañeta Yturrivalzaga (1656-1728)
Sevilla, Juan Francisco de Blas, 1692.

Antonio de Gaztañeta fue un activo marino de su época, que ostentó, entre otros, los siguientes cargos: piloto mayor de la Armada Real



NORTE
DELA NAVEGACION
HALLADO
POREL QVADRANTE
DEREDVCCION.
Q̃ ofrece. ydedica ãel S. D.D.
Andres de Ybarburu. y Galdona.
Maestrezescuela Dionidad. y Cano
nigo dela S. Yglesia Metropolitana.
y Patriarcal de Seuilla.
EL Capitan
D. Antonio de Castañeta. Yturribalzaga.
Pilo.t maior dela Real Armada
del mar Occeano.

Figura 18. Portada del *Norte de la navegación*, de Antonio de Gaztañeta (Sevilla, 1692).



NORTE
DE LA
NAVEGACION
HALLADO
POR EL QVADRANTE
DE REDVCCION,
QVE OFRECE, Y DEDICA
A EL SEÑOR
Dor. D. ANDRES
DE YBARBURU,
Y GALDONA,
MAESTRE-ESCVELA DIGNIDAD,
y Canonigo de la S. Iglesia Metropolitana,
y Patriarcal de Sevilla.
EL CAPITAN
D. ANTONIO DE GAZTAÑETA,
YTVRRIVALZAGA,
Piloto mayor de la Real Armada del Mar
Occeano.

CON PRIVILEGIO.

En Sevilla, por JVAN FRANCISCO DE BLAS, Impressor mayor
de dicha Ciudad. Año de 1692.

Figura 19. Segunda portada del *Norte de la navegación*, de Antonio de Gaztañeta (Sevilla, 1692).

del Océano, almirante real de la Armada y superintendente general de los astilleros de Cantabria. Autor del más importante texto español sobre náutica de fines del siglo XVII, habría que situar a Gaztañeta, como se dijo al tratar de Seixas y Lovera, entre los miembros del movimiento renovador de la ciencia española surgido a fines del siglo XVII.

El principal motivo de que Antonio de Gaztañeta se decidiera a escribir este libro, según confiesa él mismo en el prólogo, fue la escasez de obras sobre cuestiones de navegación escritas en castellano, lo que estaba dando lugar a la constante utilización de trabajos redactados en el extranjero. La navegación, «ciencia en que cada uno de sus professores, quanto menos saben se presumen más doctos» (Prólogo), necesitaba salir de ese bache y poder contar con obras escritas en forma clara y concisa, de fácil comprensión para los principiantes en la materia, de ahí la elaboración de este libro por el marino vasco.

Gaztañeta propuso la utilización del cuadrante de reducción en las observaciones astronómicas realizadas en los buques, argumentando que este instrumento reunía las ventajas de ser manejable, sencillo y preciso. Sin embargo, estas características no serían reunidas verdaderamente por un instrumento hasta la aparición de los aparatos de reflexión, y concretamente del sextante, en el siglo siguiente.

Poco más podría decirse sobre los libros de náutica publicados en la España del siglo XVII. Además de las obras comentadas, podríamos hacer una breve mención al manuscrito de Juan Bautista Labaña (1555-1624) titulado *Tratado del arte de navegar*, surgido de las clases de náutica impartidas por el autor en la Academia de Matemáticas de Madrid, y al libro de Lázaro de Flores llamado *Arte de navegar, navegación astronómica, teórica y práctica con tablas de las declinaciones del Sol, computadas al meridiano de Habana, y nuevas declinaciones de estrellas y nuevos instrumentos* (Madrid, 1673), en el que se suministraban interesantes noticias de navegación práctica.

TERCERA PARTE

NAVEGACIÓN Y ASTRONOMÍA EN LA ESPAÑA DEL XVIII

I

CIENCIA E ILUSTRACIÓN EN ESPAÑA

Durante los dos siglos anteriores, los europeos se habían dedicado a descubrir nuevos continentes y a inspeccionar el planeta. El desarrollo de los conocimientos había sido tan grande que las investigaciones llevadas a cabo no pudieron ser más que superficiales. El paso hacia los trabajos en profundidad, que conducirían a sorprendentes resultados en la mayoría de las ramas del conocimiento, vino marcado por las aportaciones de Newton y su teoría sobre la situación de nuestro planeta en el universo. La contribución de Newton a la astronomía, caracterizada por la aplicación del cálculo infinitesimal, significó el punto de partida desde el que esta ciencia evolucionó hacia el desarrollo de sus dos grandes vertientes en el siglo XVIII. Por un lado, la mecánica celeste, aplicación de la nueva matemática newtoniana a la astronomía, necesaria para poder predecir la posición de los astros partiendo de los principios enunciados en la ley de la gravitación universal. Por el otro, la realización de un gran número de observaciones de precisión que tuviesen utilidad como base empírica y de confrontación a las predicciones de la mecánica celeste.

La aplicación de la astronomía, ciencia que en principio podía aparecer como abstracta, a cuestiones tan prácticas y de tanto interés político como la obtención precisa de coordenadas geográficas o la navegación astronómica fue acompañada por el interés de los Estados europeos por el fomento de la ciencia. Buena prueba de ello sería la proliferación de concursos oficiales, convocados para conseguir una fórmula para la determinación de la longitud en el mar o las expediciones geodésicas, financiadas por Francia para determinar la figura de la Tierra. Así pues, durante el Siglo de las Luces, la protección y finan-

ciación de los Estados iría sustituyendo, cada vez con más fuerza, al mecenazgo de monarcas y nobles en la práctica de la astronomía.

El comienzo del siglo XVIII vino marcado en España por importantes cambios en todos los aspectos. Tras la instauración de la dinastía borbónica y el final de la Guerra de Sucesión, se abrió un período de paz y crecimiento económico, en el que los nuevos monarcas iniciaron una política dirigida hacia la recuperación de España como potencia política y económica de primer orden. Para ello era indispensable impulsar el desarrollo de las ciencias y de las técnicas, de forma que pudiesen alcanzar un nivel parecido al que ya existía en el resto de Europa. Sin embargo, el respeto por la tradición era aquí mucho más fuerte que en el extranjero y las universidades no parecían dispuestas a adaptarse a las nuevas corrientes científicas imperantes.

El movimiento renovador de fines del XVII tuvo como una de sus principales características el apoyo a las técnicas, entendiéndolas como ciencias aplicadas y acercándolas de esta forma a la ciencia teórica. Siguiendo esta dirección, los primeros gobiernos ilustrados actuaron, como ha afirmado el profesor Vernet, en varios frentes con objeto de imponer una política científica acorde con los tiempos [1]. En primer lugar, las medidas oficiales fueron dirigidas hacia el establecimiento de un sistema de apoyos para que algunas personas pudiesen estudiar en el extranjero, algo que se convertiría en práctica habitual y que supondría el final de la política iniciada por Felipe II con la publicación de la Real Pragmática que prohibía salir de España, tanto para estudiar como para enseñar. Por otro lado, además de atenuarse la fuerza represora de la censura en materias científicas, se inició la contratación de técnicos y profesores extranjeros para suplir la carencia de especialistas españoles en las disciplinas científicas más modernas. A todo ello habría que añadir la creación de nuevas instituciones científicas para sustituir en la investigación a unas universidades que permanecían inadaptadas a la nueva situación. Con todas estas medidas, los primeros gobiernos ilustrados sentaron las bases de un desarrollo científico y técnico cuyos frutos comenzarían a madurar a partir de la segunda mitad del siglo XVIII. De esta forma, la influencia de los personajes ilustrados y las nuevas condiciones socioeconómicas permitieron el desarrollo de la

[1] Véase J. Vernet, *Historia de la ciencia española,* Madrid, 1975.

evolución científica abierta por el movimiento renovador precedente. La ciencia española comenzó a acercarse, poco a poco, al proceso general de desarrollo científico que se estaba produciendo en la Europa de aquellos años.

En el caso de las matemáticas y la astronomía, a lo largo de la primera mitad del siglo se constató una renovación de las instituciones pedagógicas, basada en la creación de centros como la Academia de Guardias Marinas de Cádiz (1717), el Seminario de Nobles de Madrid (1725) y la Academia de Artillería de Barcelona (1736). A través de estas instituciones se produciría la entrada en España de los principales avances europeos en la materia, especialmente el cálculo infinitesimal.

La promoción de las actividades científicas y técnicas alcanzó su momento culminante en la época de Carlos III, para comenzar a decrecer rápidamente durante el reinado de su sucesor Carlos IV. Las causas de esta decadencia pueden ser buscadas en la crisis general del movimiento ilustrado español, provocada por una serie de factores como la adversa coyuntura económica, el impacto negativo de la Revolución Francesa o la personalidad del propio monarca. Sin embargo, el cultivo de la ciencia no siguió un proceso de evolución paralelo al de su promoción desde el Estado. El gran trabajo de impulso desarrollado desde la mitad del siglo y durante todo el reinado de Carlos III comenzó a fructificar, paradójicamente, en los últimos años de la centuria, justo cuando había comenzado a hacerse evidente la crisis de las estructuras socioeconómicas, del sistema político y de la mentalidad ilustrada que posibilitó su desarrollo.

Los niveles alcanzados por la producción científica española en los años finales del setecientos fueron tan elevados en algunas disciplinas, especialmente la química, la medicina o la historia natural, que cuando se acercaba la constitución de la ciencia contemporánea, España parecía dispuesta a convertirse en una de las naciones protagonistas de su desarrollo. Pero los acontecimientos históricos que marcaron el primer tercio del siglo XIX español dieron lugar a una realidad bien distinta. De nuevo España quedaría al margen del desarrollo científico, pero esto forma parte de una etapa histórica que se escapa a nuestros objetivos.

II

LA ASTRONOMÍA EUROPEA DEL SIGLO XVIII

El impacto causado por la publicación de los *Principia..* de Newton (1687) fue tal que tuvieron que pasar bastantes años para que otros científicos se atreviesen a desarrollar algunos de los aspectos de la teoría de la gravitación universal. Tras un período de polémica y discusiones sobre su aceptación, tanto en Inglaterra como en el Continente, aparecieron en Francia y Suiza los primeros que aceptaron y desarrollaron las teorías newtonianas (Alexis Claude Clairaut, 1713-1765; Johann Bernoulli II, 1710-1790; Leonhard Euler, 1707-1783). Utilizando el cálculo descubierto por Newton y Leibniz, y aplicándolo al análisis astronómico, estudiaron con detalle algunos temas que Newton no había desarrollado completamente. Poco más tarde, serían Lagrange (1736-1813) y Laplace (1749-1827) los que avanzarían en el análisis de la teoría newtoniana del sistema solar. Mientras el primero contribuyó decisivamente al desarrollo de la mecánica celeste, Laplace se dedicó con ahínco al estudio de las cuestiones cosmológicas, presentando un universo formado por un mecanismo perfectamente autorregulado, en el que las irregularidades se corregían entre sí [2].

En lo que se refiere a las observaciones de precisión habría que señalar el trabajo de los astrónomos prácticos, entre los que podríamos encontrar desde los ricos ilustrados aficionados a la astronomía, hasta los astrónomos profesionales del Observatorio de Greenwich. Todos

[2] Sobre la astronomía en el siglo XVIII se han consultado: Stephen F. Mason, *Historia de las ciencias*, Madrid, 1985; Manuel A. Sellés, «La astronomía en el siglo de las luces»: *Tribuna de astronomía*, número extraordinario (1986), pp. 48-59; A. Lafuente y M. Sellés, *El Observatorio de Cádiz (1753-1831)*, Madrid, 1988.

contribuyeron al desarrollo de la gran tarea astronómica cuyas características se renovaron en el XVIII, la astrometría (obtención de medidas de posición de los cuerpos del sistema solar y de las estrellas zodiacales más brillantes). Con la determinación de todos los factores que pudiesen influir en el aspecto del fenómeno observado y en la precisión de las observaciones, y con la construcción de teorías capaces de tener en cuenta las principales causas de error, se avanzó hacia la catalogación precisa de los cielos, de forma que, una vez bien determinadas las posiciones estelares, fuese posible estudiar con detenimiento el movimiento de los planetas.

Mientras que los franceses avanzaban en el desarrollo de la teoría astronómica, los ingleses se dedicaron principalmente a los trabajos observacionales. James Bradley (1692-1762), astrónomo de Greenwich, realizó numerosas observaciones sobre las posiciones de las estrellas fijas y, como consecuencia, descubrió en 1728 el efecto conocido como aberración de la luz y en 1748 la nutación del eje terrestre. En 1774, Nevil Maskelyne (1732-1811) midió por primera vez la masa de la Tierra. Mientras tanto, William Herschel (1738-1822) dejó de ocuparse de los movimientos y posiciones de los elementos de sistema solar para estudiar en profundidad el espacio sideral. Mediante la construcción de complejos y fiables instrumentos (grandes telescopios reflectores), trabajó en la catalogación de los astros de diversas zonas celestes, descubriendo en 1781 el planeta Urano y utilizando el brillo aparente de las estrellas como medida de su distancia respecto al sistema solar.

El progreso de los instrumentos

Tras la difusión de las novedades aportadas a la ciencia por Newton, sobre todo la formulación de la ley de la gravitación universal, se abrió un amplio panorama para el desarrollo de la mecánica celeste y de la astronomía observacional, proceso que fue acompañado por interesantes avances en las técnicas de construcción de instrumentos.

A lo largo de todo el siglo XVII se fue constatando una importante mejora en la precisión de la instrumentación científica. El proceso, iniciado por Tycho Brahe con sus trabajos dirigidos hacia la fabricación de nuevos instrumentos y el aumento de su precisión, continuó con la

invención del telescopio refractor, utilizado en 1610 por Galileo, al que con el paso de los años se le irían añadiendo modificaciones y perfeccionamientos (micrómetros, retículo filar). De esta forma, mientras la construcción de instrumentos astronómicos de precisión se iba especializando y profesionalizando, los aparatos tradicionales fueron cayendo en desuso.

Sin embargo, los telescopios refractores presentaban dos importantes dificultades para su utilización como instrumentos de precisión: la aberración esférica (debida en su mayor parte a la curvatura de las lentes y cuyo efecto es la indefinición del astro observado) y la aberración cromática (causada por la dispersión selectiva de la luz, que se manifiesta como un halo coloreado alrededor del astro). Los estudios encaminados a solucionar estos problemas llegaron a un punto importante cuando, en 1688, Newton construyó el primer telescopio reflector, libre de los errores provocados por la aberración. No obstante, aunque sus ventajas eran considerables en cuanto a la precisión, la dificultad de su construcción dio lugar a que no fuesen utilizados con asiduidad hasta finales del siglo XVIII (Herschel). Los telescopios refractores irían evolucionando, mientras tanto, hacia una mayor precisión con la construcción de los primeros objetivos acromáticos [3].

Parece evidente, pues, que durante el siglo XVII las técnicas de construcción de instrumentos astronómicos no permitían todavía un gran desarrollo de la astronomía de precisión. Cuando a finales de este siglo fueron aplicados al anteojo el micrómetro y el retículo filar, se dio el primer paso hacia la consecución de lo que sería el instrumental básico de los observatorios dedicados a la astronomía de precisión. Como ya hemos visto con anterioridad, uno de los principales objetivos de las investigaciones del siglo XVIII fue la determinación de las posiciones de los astros, para lo cual era necesario establecer el valor de sus coordenadas ecuatoriales, la declinación y la ascensión recta. El cuarto de círculo, que como su nombre indica era un instrumento consistente en un anteojo adosado a un cuarto de círculo fijo provisto de una plomada o de un nivel y situado en el plano del meridiano del observatorio, permitía medir la altura angular de los astros sobre el ho-

[3] Más datos sobre la evolución histórica de los telescopios en A. Danjon y A. Couder, *Lunettes et telescopes*, París, 1935; H. C. King, *The history of the telescope*, Nueva York, 1979; I. Asimov, *Historia del telescopio*, Madrid, 1986.

rizonte en el momento de su paso por dicho meridiano, por lo que se convirtió en un aparato muy útil en las determinaciones de la declinación. No era, sin embargo, tan preciso a la hora de observar la ascensión recta, de ahí la necesidad de utilizar un nuevo instrumento, el anteojo de pasos, formado por un anteojo fijado perpendicularmente a un eje que permitía su movimiento en un plano vertical. Este instrumento fue usado mediante el método de las alturas correspondientes en observaciones fuera del meridiano y, también, en observaciones meridianas para obtener la ascensión recta. Como complemento era necesario un péndulo de precisión que permitiese fijar con exactitud el instante de la observación. Los péndulos, que habían sido convertidos en instrumentos de precisión por Huygens, se habían ido perfeccionando mediante la introducción de mecanismos de compensación, para luchar contra los efectos producidos por las variaciones de temperatura. De esta forma, durante el siglo XVIII sería usual la combinación entre los anteojos de pasos y los péndulos astronómicos en las determinaciones de la ascensión recta de las estrellas.

La institucionalización de la astronomía

La necesidad de intercambiar las numerosas observaciones realizadas en diferentes lugares promovió, en el siglo XVIII, un importante esfuerzo por parte de los astrónomos prácticos, en lo que a normalización de técnicas y objetivos se refiere. Si a ello sumamos el importante empuje dado a las tareas astronómicas por parte de los gobiernos ilustrados, encontraremos las bases de la rápida institucionalización de la astronomía.

En el inicio de este proceso cabría destacar sin duda la fundación de los observatorios de Greenwich y de París, pioneros entre las instituciones astronómicas europeas. La creación de academias y el auge de las instituciones académicas, así como el interés particular de determinados ilustrados, trajo consigo un importante aumento de observatorios —unos ciento treinta a fines del siglo XVIII—, en los que los astrónomos se fueron profesionalizando hasta el punto de ir sustituyendo a los particulares, que hasta entonces habían estado haciendo aportaciones de importancia a la astronomía desde sus gabinetes. Los astróno-

mos aficionados se vieron obligados a dejar paso a unas actividades mucho más profesionalizadas, desarrolladas por los observatorios [4].

Así pues, los aficionados a la astronomía tuvieron un papel cada vez menos importante, dada la imposibilidad de competir con los más precisos y complejos instrumentos de los observatorios y la mayor complejidad de los cálculos y métodos utilizados. Los aficionados a la astronomía vieron reducida su actividad a las posibilidades de sus instrumentos y conocimientos, válidos en observaciones para la determinación de posiciones geográficas, o en observaciones de fenómenos astronómicos de carácter extraordinario o singular (eclipses, ocultaciones).

La creación del Observatorio de París tuvo lugar en 1667 y estuvo ligada directamente a la fundación de la Academia Real de Ciencias [5]. El movimiento propicio a la organización e institucionalización de las investigaciones científicas, tras el importante desarrollo adquirido por éstas durante los años precedentes, impulsó a Luis XIV, y a su ministro Colbert, al apoyo de la creación de una academia que acogiese los trabajos de los principales científicos de la época. La instalación de un observatorio apareció entonces como una obligación provocada por la necesidad de dotar a la nueva academia con una sede para el conjunto de sus actividades científicas. En ello influiría, sin duda, la corriente de opinión favorable a las investigaciones astronómicas, tanto en la mecánica celeste como en sus aplicaciones prácticas, sobre todo en la navegación. El origen concreto del observatorio parisino debe buscarse en la presentación de las efemérides de Picard (1620-1682), que llamó la atención al monarca francés sobre la necesidad de contar con buenos instrumentos de latitud. Para la dirección del Observatorio fue designado el astrónomo italiano Dominico Cassini. Durante esta primera etapa de la institución se llevaron a cabo los trabajos de Röemer para la determinación de la luz (1675) y Picard inició la publicación de las efemérides tituladas *Connaissance des temps* (1679). La dirección del Observatorio iría pasando, desde entonces, de padres a hijos en la familia Cassini durante cuatro generaciones consecutivas, en las que imprimieron a los trabajos de la institución una clara orientación geodésica.

[4] Manuel A. Sellés, «La astronomía en el siglo de las luces»: *Tribuna de astronomía*, número extraordinario (1986), p. 56.

[5] Véase R. Taton, «Les origines et les débuts de l'Observatoire de Paris»: *Vistas in astronomy*, 20 (1976), pp. 65-71.

Los orígenes del primer observatorio inglés pueden ser situados en la polémica surgida en la ciencia del siglo XVII sobre los métodos para solucionar el problema del cálculo de la longitud [6]. La necesidad de contar con unas tablas precisas de posiciones de estrellas y de la Luna a efectos de navegación, llevó a la monarquía británica a la fundación en 1675 del Observatorio Real de Greenwich, que fue puesto a cargo de John Flamsteed (1646-1720). Su gran obra al frente de la nueva institución, la *Historia coelestis britannica* (1725), recogió las observaciones de toda su vida, y su gran catálogo, con más de tres mil estrellas, fue la primera contribución de Greenwich a la astronomía. Sin embargo, la realización de estas primeras observaciones no fue un trabajo fácil. Habían sido hechas por Flamsteed con instrumentos particulares y pagándose sus propios ayudantes. A la muerte de Flamsteed, la persona elegida para sustituirle, fue Edmond Halley ya conocido por sus contribuciones a la astronomía y a la ciencia en general. Sin embargo, éste no sería el único astrónomo famoso que estuvo al frente del observatorio británico. Tras Halley dirigieron la institución personajes de la talla de James Bradley, descubridor del fenómeno de la aberración de la luz, y Nevil Maskeline, conocido por sus estudios sobre el cálculo de la longitud mediante el método de las distancias lunares y por la publicación del primer *Nautical Almanac* (1767). Sus trabajos y observaciones convirtieron al Observatorio de Greenwich a lo largo del siglo XVIII en la principal institución astronómica europea, sobre todo en lo que se refiere a la práctica observacional y a la elaboración de catálogos de posiciones de estrellas.

[6] Sobre la historia del Observatorio de Greenwich, véase Harold S. Jones, *El Real Observatorio de Greenwich: El astrónomo real*, Londres, 1944; Eric G. Forbes, A. J. Meadows y D. Howse, *Greenwich Observatory*, Londres, 1975.

III

LA INTRODUCCIÓN DE LA NAVEGACIÓN ASTRONÓMICA

Los nuevos instrumentos de reflexión: el sextante

Como ya se vio con anterioridad, una de las principales consecuencias de los trabajos de Newton sería la división de los astrónomos entre teóricos y observadores. Mientras los primeros desarrollaban la mecánica celeste, procurando integrar los fenómenos detectados por los observadores en el cuerpo doctrinal de la mecánica newtoniana, los prácticos se dedicaron a ahondar en el programa básico de la astronomía del setecientos, la astrometría. A sólo un paso de la confección de los primeros catálogos estelares precisos, habría que situar el desarrollo de las vertientes náutica y geodésica de la astronomía.

Desde que, en el período del Renacimiento, se realizaran las grandes navegaciones que llevaron a los europeos a la exploración de América y permitieron la expansión de los imperios coloniales de España y Portugal, la náutica no había registrado grandes mejoras ni progresos espectaculares. Los navegantes seguían contando con muy pocos medios para poder realizar una travesía segura: la brújula (que no marcaba el Norte debido al error provocado por la declinación magnética), la posibilidad de establecer con relativa facilidad la latitud, algunas cartas náuticas (generalmente imperfectas), relojes de poca exactitud y la corredera, introducida por los ingleses para calcular la distancia recorrida mediante la estima de la velocidad del barco. Por tanto, la navegación por el océano continuaba siendo bastante complicada, especialmente por el desconocimiento de un método seguro para poder determinar la posición geográfica del buque y por la imprecisión, e incluso carencia, de una geografía transoceánica.

Para poder fijar la posición geográfica de un lugar cualquiera era necesario determinar con exactitud las dos coordenadas que la definen, latitud y longitud. Como ya sabemos, el cálculo de la primera fue resuelto sin muchos problemas, pues la latitud de un lugar coincide con la altura en dicho lugar del polo celeste, identificado aproximadamente con la estrella Polar, por lo que bastaba con obtener la altura de ésta sobre el horizonte para calcular con suficiente precisión dicha coordenada. La longitud, por el contrario, era mucho más difícil de calcular, pues para ello se necesitaba observar el mismo fenómeno celeste en dos puntos diferentes y extraer la diferencia horaria entre ambas observaciones. Muchos fueron los métodos propuestos, pero la mayoría de ellos resultaron poco adecuados para su aplicación en la mar.

No es de extrañar, pues, que el problema de hallar la situación de las naves en alta mar, y en cualquier momento del viaje, se convirtiese en un objetivo de primera magnitud para los gobiernos europeos de la época. La primera nación que tuvo consciencia de la necesidad imperiosa de solucionar este asunto fue España, dado que eran cuantiosos los daños económicos ocasionados por la pérdida de los navíos en la carrera de Indias. Las dos únicas alternativas que, en el siglo XVIII, aparecían como más viables, la utilización de los cronómetros marinos para conseguir un exacto cálculo de la diferencia horaria y el método de la observación de las distancias lunares, contribuyeron a hacer cada vez más evidente la necesidad de que los navegantes recurriesen a la astronomía, si querían mejorar la seguridad de sus viajes. Lo cierto es que, aunque la mayoría de los marinos no vio con buenos ojos la introducción de unos métodos científicos cuya aplicación y cálculos les parecían inasequibles, los astrónomos y navegantes ilustrados consiguieron divulgar en la práctica náutica estos nuevos métodos que intentaban acabar con la inseguridad de la navegación por estima. Dichos métodos se apoyaron para su práctica en el uso de unos pequeños instrumentos de observación astronómica, conocidos inicialmente con el nombre de instrumentos de reflexión, precursor del actual sextante.

El cuadrante de Davis había sido el instrumento más utilizado durante el siglo XVII para tomar las alturas de los astros en la mar. Hasta bien entrado el siglo XVIII no se produjo la aparición de una nueva generación de instrumentos para su utilización en alta mar, nos referimos, claro está, a los instrumentos de reflexión desarrollados para usos náuticos. El primero de ellos fue el octante de Hadley, un instrumento

compuesto por un sector circular de 45°, cuyos radios iban provistos de un anteojo y dos espejos. Mediante esta disposición, Hadley consiguió reunir en una sola línea de mira los dos objetos que el observador tenía que enfilar simultáneamente con la ballestilla y con el cuadrante de Davis, es decir, el horizonte y el astro a observar.

El perfeccionamiento del método de las distancias lunares para la determinación de la longitud geográfica dio lugar a una serie de reformas que terminarían convirtiendo a este instrumento en un sextante. Al estar señalada en la escala la mitad de los grados, el sector graduado de 45° del que iba provisto el octante permitía medir alturas de hasta 90° sin ningún problema. Sin embargo, la .necesidad de medir mayores distancias angulares, surgida de la aplicación del método de las distancias lunares, hizo pensar a los constructores de este tipo de instrumentos en una modificación del mismo que llevaría al nacimiento del quintante y del sextante.

Este último, que ha perdurado hasta nuestros días, se convirtió, desde fines del siglo XVIII, en el instrumento astronómico más utilizado en la navegación. Se trata de un sector circular de 60°, provisto de un anteojo y dos espejos, que permite realizar las observaciones destinadas a obtener la altura de los astros y la medición de ángulos de hasta 120° en otro tipo de observaciones astronómicas, lo que le convirtió en el instrumento ideal para las observaciones necesarias en la determinación de la longitud por medio del método de las distancias lunares.

El método de los cronómetros marinos

En un intento de llegar a situar el buque a lo largo de su singladura, los ingleses introdujeron en el siglo XVII la corredera. Como ya se explicó, la corredera era una barquilla diseñada con la intención de que, una vez lanzada al agua, quedase lo más estable posible. El sistema consistía en contar los nudos de una cuerda a la que estaba unida mientras una ampolleta marcaba el tiempo. De esta forma, bastante imprecisa, se hacía una aproximación a la determinación de la distancia recorrida. Sin embargo, en su imprecisión influían factores tan diversos como la falta de exactitud de las medidas, la imperfección de las cartas, los defectos de las ampolletas o el valor de la declinación magnética.

Durante la segunda mitad del siglo XVIII fueron perfeccionados dos de los métodos propuestos para solucionar el problema de la determinación de la longitud. Estos métodos, el basado en el empleo de los cronómetros y el de las distancias lunares, no habían podido ser practicados hasta entonces a causa de una serie de problemas técnicos que no encontraron una buena solución hasta el siglo ilustrado. De los diversos intentos para poner a prueba estos métodos se dedujo rápidamente que la navegación tendría que recurrir, a partir de entonces, a la astronomía y al cálculo. Ello incidiría, sin duda, en la necesidad de dar a los navegantes una formación más completa que el mero empirismo práctico utilizado por éstos hasta entonces. Lo cierto es que si para los astrónomos la utilización de estos nuevos métodos no suponía ningún problema, la mayoría de los marinos encontraba grandes dificultades en la adquisición de la formación científica y técnica necesaria para poder usarlos.

Habitualmente se cita la obra de Gemma Frisius *De principiis astronomiae et cosmographiae* (Lovaina, 1530), como aquella que incluye la más antigua propuesta para el uso de los relojes en la solución del problema de la longitud. Sin embargo, diversos autores coinciden en afirmar que fue Hernando Colón el que hizo por primera vez esta propuesta en la Junta de Badajoz (1524). A pesar de la sencillez del método, tuvieron que pasar muchos años hasta que la técnica relojera desarrollase unos aparatos capaces de ser utilizados en alta mar sin pérdida de precisión en el cómputo del tiempo. El sistema propuesto era el siguiente: el buque partía con un reloj que marcaba la hora del meridiano del punto de origen; ya en alta mar, mediante observaciones astronómicas, se deducía la hora local del punto donde se hallaba situado el barco. La diferencia entre ésta y la marcada en el reloj, se traducía directamente en la diferencia de longitud entre la posición del barco y el punto de partida.

Durante el siglo XVII, personajes como Huygens y Hooke hicieron las primeras aportaciones de importancia en la construcción de relojes de precisión, iniciándose de esta forma un período de investigaciones y desarrollo técnico, cuyos resultados más importantes vieron la luz en los años centrales del setecientos. No hay que olvidar que en Inglaterra, siguiendo los pasos marcados por la Corona española en 1598, el Parlamento estableció un sustancioso premio en metálico para quien presentase una solución válida al problema y fue creado el Board of

Longitude, con el objeto de estudiar las propuestas y subvencionar los proyectos más interesantes.

Tras algunos primeros intentos que no obtuvieron resultados satisfactorios, el Board of Longitude autorizó en 1736 a John Harrison para que efectuase las pruebas de su cronómetro marino en un viaje de ida y vuelta entre Londres y Lisboa. Los buenos resultados obtenidos indujeron a la comisión a concederle una ayuda económica para construir un nuevo reloj más perfeccionado. Harrison no presentaría este nuevo prototipo hasta 1760, aunque sería mejorado por otro modelo construido, mientras esperaba la autorización para poder realizar el viaje de prueba. Este viaje se llevó a cabo a bordo del buque inglés Deptford, entre Portsmouth y Port Royal (Jamaica). Con el último reloj construido por Harrison se obtuvieron unos resultados óptimos, pues se comprobó, después de determinar la longitud de Port Royal mediante observaciones astronómicas, que el cronómetro marino, tras ochenta y un días de prueba, sólo había acumulado un error de cinco segundos. A la vuelta de este viaje, el Board of Longitude exigió otra nueva prueba a Harrison para hacerle entrega del premio prometido por el Parlamento. Los resultados obtenidos en este nuevo viaje, llevado a cabo a las islas Barbados, también fueron satisfactorios, lo que no impediría que la comisión continuase poniendo trabas para la entrega del premio, al exigir a Harrison que hiciese públicos los fundamentos técnicos y teóricos en que se había basado para construir sus relojes.

En Francia también participaron algunos relojeros en la carrera por obtener un cronómetro marino con la exactitud exigida por el método para determinar la longitud en el mar al que nos estamos refiriendo. En 1763, Pierre Le Roy terminó de construir su primer cronómetro marino. Sólo cuatro años más tarde, la fragata Aurora emprendió un viaje de cuarenta y seis días para probar el funcionamiento de una de las máquinas desarrolladas por Le Roy. Sin embargo, el excesivo error acumulado por su cronómetro no le permitió optar al premio ofrecido por la Academia de Ciencias de París, institución que había auspiciado la prueba. Mientras tanto, Ferdinand Berthoud intentaba acceder, mediante la realización de viajes a Inglaterra, a los secretos de la construcción de cronómetros que tan celosamente eran guardados por John Harrison. No obstante, parece ser que el principal escollo a salvar por los relojeros franceses era el de la capacidad técnica de su industria. Los talleres ingleses habían alcanzado un nivel muy elevado en deter-

minadas técnicas sofisticadas, como la preparación y uso de rubíes en los puntos de rozamiento de la maquinaria, algo que todavía parecía muy lejano a los rudimentarios talleres del Continente. Después de algunas pruebas poco satisfactorias, Berthoud recibió el encargo oficial de construir dos cronómetros marinos en 1776. Dos años más tarde, los cronómetros Berthoud números 6 y 8 fueron probados en un largo viaje por costas europeas, africanas y americanas (Cádiz, Canarias, Cabo Verde, Martinica, Santo Domingo, Terranova, Canarias, Cádiz). Tanto esta prueba, como la realizada a dos nuevos relojes construidos por Le Roy, arrojaron unos resultados similares a los obtenidos por los ingleses. De esta forma, el método de los cronómetros quedaba suficientemente probado, aunque parecía evidente que con el paso de los años las cualidades técnicas de los aparatos empleados serían mejoradas ostensiblemente, lo que auguraba un interesante futuro a un método para la determinación de la longitud que, a pesar de haber sido ideado en el siglo XVI, había tenido que esperar hasta que el desarrollo técnico efectuado en el siglo XVIII hizo posible la construcción de relojes marinos de precisión.

El método de las distancias lunares

El desplazamiento de la Luna respecto a las estrellas podía ser utilizado como un cronómetro universal, más incómodo, pero más preciso en determinadas ocasiones que los construidos por los hombres. La práctica de este método, consistente en observar la distancia angular de la Luna a un astro de referencia (el Sol o una estrella) y las alturas de ambos sobre el horizonte, resultaba bastante complicada para aquellas personas que no fuesen astrónomos profesionales, ya que, disponiendo de los resultados de la observación y conociendo la hora local, había que efectuar una serie de correcciones sobre la distancia observada (refracción y paralaje), que necesitaban unos cálculos muy complejos. En términos menos teóricos, y siguiendo al profesor Horacio Capel, podríamos decir que el método de las distancias lunares consiste en deducir la diferencia de longitud entre el meridiano conocido de un lugar y aquel del punto desconocido en que se está, comparando el lugar que debería ocupar la Luna en el primero con el que realmen-

te ocupa en el segundo [7]. Parece evidente, entonces, que conociendo con precisión los movimientos de la Luna, la distancia recorrida por ella entre uno y otro punto permitiría determinar la distancia a la que se está del meridiano conocido.

Sin embargo, la necesidad de conocer con exactitud las posiciones estelares, la imposibilidad de predecir con mucho tiempo de antelación, y con exactitud, los movimientos de la Luna y la inexistencia de un instrumento de observación preparado para poder llevar a cabo observaciones astronómicas de precisión en el mar, retrasaron durante mucho tiempo la práctica de este método, cuyos orígenes, al igual que en el caso de los cronómetros, también pueden ser rastreados en el siglo XVI. En 1514, Johann Werner propuso su utilización en los comentarios a la traducción de la *Geografía* de Ptolomeo. Más adelante, en 1578 y 1634, Gemma Frisius y Morin, respectivamente, completaron el método de forma rigurosa. No obstante, el método no pudo ser utilizado y fue desechado por impracticable. Como han afirmado en alguna ocasión los profesores Sellés y Lafuente, ni los instrumentos ni las efemérides celestes estaban aún en condiciones de garantizar su viabilidad [8].

La confección de los primeros catálogos precisos de posiciones estelares, el perfeccionamiento de los conocimientos sobre el movimiento de la Luna y el uso de los pequeños instrumentos de reflexión de nueva generación aparecidos a principios del siglo XVIII, especialmente el sextante, hicieron factible la aplicación de este método desarrollado por astrónomos y marinos. De todas formas, su uso tardaría bastante en introducirse entre los navegantes, pues, aunque su fundamento era relativamente sencillo y comprensible, la práctica del mismo exigía realizar a la vez la observación de la distancia angular de la Luna al astro de referencia (Sol o estrella) y las alturas de ambos sobre el horizonte. Además, como ya se ha visto con anterioridad, estos resultados debían ser sometidos a complejos cálculos y correcciones. No obstante, el principal problema planteado para la aplicación del método de las distancias lunares en la determinación de la longitud en alta mar fue, durante mucho tiempo, la inexistencia de unas tablas que predijesen con exactitud y bastante antelación las posiciones de la Luna en la esfera celeste.

[7] Véase H. Capel, *Geografía y matemáticas en la España del siglo XVIII*, Barcelona, 1984.

[8] Véase A. Lafuente y M. Sellés, *El Observatorio de Cádiz (1753-1831)*, Madrid, 1988.

Personajes como Newton y Halley trabajaron en la solución del problema de la predicción de los movimientos de la Luna, pensando en la utilidad que este procedimiento podría tener para los navegantes. El problema de la elaboración de una serie de tablas para facilitar la complicada utilización del método, comenzaría a vislumbrar una solución válida a mediados del siglo XVIII, cuando Tobías Mayer publicó unas tablas, con cuya redacción definitiva de 1764 permitió alcanzar en la práctica del método una fiabilidad muy parecida a la obtenida por los cronómetros marinos probados ya por Harrison. Precisamente, el astrónomo de Greenwich, Nevil Maskelyne, sería el encargado de comprobar la viabilidad de la utilización de estas tablas, comparándolas con los resultados obtenidos por el cronómetro número 4 de Harrison. Los buenos resultados conseguidos dieron lugar a la publicación en 1766, con el apoyo del Board of Longitude, de unas efemérides náuticas adaptadas al método de las distancias lunares.

A partir de entonces proliferarían los métodos dirigidos a «despejar» la distancia lunar por medio de cálculos más asequibles a los navegantes. En 1798, Pierre Levèque llegó a presentar en una memoria, publicada en la *Connaissance des temps,* setenta y seis procedimientos distintos usados por los marinos para reducir la distancia aparente de los centros de los astros observados a su distancia verdadera [9].

Según todos los indicios, el introductor del método de las distancias lunares en España fue José de Mazarredo. Después de haber tenido noticias de las tablas confeccionadas en Inglaterra para poder usar el método, y como no le fue posible conseguirlas, aplicó el método mediante cálculos propios en un viaje que realizó a Manila en 1772. Poco más tarde, en 1774, practicó de nuevo el método, junto a José Varela, en la determinación de la posición geográfica exacta de la isla de Trinidad del Sur. En sus *Lecciones de navegación* (Isla de León, 1790), José de Mazarredo dedicó una parte importante del texto a la explicación de este método que fue enseñado por él desde 1777 en la Academia de Guardias Marinas de Cartagena.

[9] Pierre Levèque, «Théorie des différentes méthodes trigonométriques employées par les navigateurs, pour réduire la distance apparente des centres des deux astres observés à leur distance vraie, pour le calcul des longitudes...»: *Connaissance des temps à l'usage des astronomes et des navigateurs* (1798), pp. 276-293.

La difusión del método de las distancias lunares en los centros docentes de la Armada española trajo como consecuencia una última década del siglo XVIII, jalonada por numerosas memorias que perfeccionaban y completaban el sistema empleado por los marinos. Los trabajos de personajes como Mendoza y Ríos, Alcalá Galiano, López Royo, Gabriel Ciscar y José Luyando, mostraban un importante nivel científico y el conocimiento de la más reciente bibliografía sobre este asunto (Lalande, La Caille, Pingré, Bouguer).

El desarrollo de las instituciones docentes de la Marina, la puesta en marcha del Observatorio de Cádiz y la solución de un problema tan antiguo como el de la determinación de la posición geográfica del buque en alta mar, situaron a nuestro país en una favorable coyuntura para la realización de proyectos cartográficos de envergadura y de expediciones científicas de alto nivel, aspectos de los que trataremos con detenimiento un poco más adelante.

La construcción naval española en el siglo XVIII

El buque por excelencia del siglo XVIII español fue, sin duda alguna, el navío. Este tipo de embarcación fue evolucionando y creciendo a lo largo de todo el período de la Ilustración. Se trataba de un buque potente y robusto, con dos o tres puentes y un gran aparejo de tres palos cruzados y bauprés. Los estudios sobre la construcción naval en la España del XVIII han permitido elaborar una relación con todos los buques existentes en España entre 1700 y 1799. De los 598 buques censados, 229 fueron navíos y el resto otro tipo de buques auxiliares (fragatas, corbetas, bergantines, urcas, goletas, paquebotes). La mayor parte de ellos fueron construidos en astilleros españoles, ya fuese de la Península (Ferrol, Guarnizo, Cartagena, La Carraca) o de América (Habana, El Callao, Guayaquil, San Blas).

Los especialistas en este tema distinguen cinco períodos diferentes, a lo largo de todo el siglo XVIII, en lo que se refiere a la construcción de navíos. La primera de estas etapas ocupa toda la primera mitad de la centuria. Durante esos años se construyeron unos navíos pequeños, de 50 a 80 cañones, siguiendo el método propuesto por Antonio de Gaztañeta en 1720, convertido en método oficial a raíz del Real Decreto del 13 de mayo de 1721.

Entre 1750 y 1770 transcurre un período para la construcción naval española dominado por la figura de Jorge Juan. A su regreso de la expedición al Perú, Jorge Juan fue enviado a Inglaterra, donde estudió durante varios meses los métodos de construcción naval empleados en las Islas Británicas. Trajo consigo a España a cinco maestros ingleses especializados en la construcción de arboladuras y jarcias. Durante esta época, Jorge Juan se encargó de la Dirección de Construcción de Buques y de la construcción de los Arsenales del Ferrol, Cartagena y La Carraca. Se dedicó, además, al estudio teórico y práctico de la construcción naval, utilizando la bahía de Cádiz como zona de pruebas para sus modelos. Producto de estas experiencias, y de los importantes conocimientos científicos acumulados por Jorge Juan en sus anteriores ocupaciones, surgió su obra titulada *Examen marítimo,* un tratado fundamental para la construcción naval de la época, cuyo método sería muy utilizado a partir de entonces.

El *Examen marítimo* consta de dos tomos precedidos de un prólogo, en el que el autor repasa los estudios ya existentes sobre ese mismo tema. El primer tomo es un tratado de mecánica, en el que se estudian las definiciones y axiomas del movimiento, del equilibrio, del movimiento y resistencia de los materiales y de los centros de gravedad. En el tomo segundo se aplica la teoría anterior al problema de la dinámica de las embarcaciones: se consideran las características de las olas y su influencia en los movimientos del buque, los esfuerzos a los que está sometida su arboladura y la resistencia de la estructura de los navíos.

La importancia de esta obra de Jorge Juan fue bastante grande, tanto a nivel científico como práctico. Ello se puede comprobar siguiendo sus sucesivas ediciones y traducciones. En 1783 fue traducida al francés por Pierre Levèque, en 1784 al inglés y en 1819 se editó en Milán la traducción italiana. En 1793 salió de la imprenta una segunda edición española ampliada por Gabriel Ciscar, que enriqueció considerablemente la obra, añadiéndole nuevas teorías y numerosas notas al texto.

Destituido de su cargo Jorge Juan, a causa de sus diferencias con el ministro Arriaga, se inició en 1770 una nueva etapa en lo que se refiere a la construcción naval. Este nuevo período estuvo caracterizado por la creación del Cuerpo de Ingenieros de Marina e Hidráulicos Navales (1770) y por la designación para la dirección de este nuevo cuerpo del constructor naval francés Francisco Gautier, discípulo de Bouguer.

En 1784, a la muerte de Gautier, se hizo responsable de la construcción naval española Romero Landa, bajo cuya dirección fue construido un buen número de buques de 74 cañones (San Ildefonso, San Telmo, Intrépido, Pelayo, Conquistador, Paula, Europa, Monarca) y de 64 cañones (Fulgencio, Leandro, Alcántara).

El último período distinguido por los especialistas en la historia de la construcción naval española del siglo XVIII es el correspondiente al nombramiento de Retamosa como responsable de este asunto. Bajo su dirección fue construido el famoso navío de 74 cañones, Montañés, cuyas características marineras fueron muy alabadas en su época.

IV

LAS ENSEÑANZAS NÁUTICAS EN LA ESPAÑA DEL SETECIENTOS

Los Colegios de San Telmo

A principios del siglo XVIII, el profesorado del Colegio de San Telmo de Sevilla formaba parte de ese pequeño grupo de personas cuyas conocimientos cosmográficos y náuticos destacaban con especial relevancia. Además de los profesores de esta institución, solamente los cosmógrafos de la Casa de la Contratación y los jesuitas del Colegio Imperial de Madrid se distinguían en la España de aquellos años por sus conocimientos cosmográficos y náuticos.

Durante el siglo XVIII tuvo lugar el paso de lo que hasta entonces se había llamado arte de navegar a la ciencia de la navegación. Este tránsito, que se produjo de forma paulatina y no estuvo exento de tensiones, puede ser rastreado en las enseñanzas impartidas a los futuros pilotos de la carrera de Indias. Cuando comienza el siglo, la situación de las instituciones náuticas sevillanas era bastante negativa. En la Casa de la Contratación estaban vacantes todas las plazas, excepto la de piloto mayor, cuyo ocupante, Francisco Antonio de Orbe, pasaría en 1717 a dirigir la Academia de Guardias Marinas de Cádiz. En lo que se refiere al Colegio de San Telmo, la única persona con una formación náutica destacable era Pedro Manuel Cedillo, autor de obras como el *Compendio de navegación* y la *Trigonometría aplicada a la navegación.* La primera de ellas, usada como libro de texto en el Colegio de San Telmo, y en la Academia de Guardias Marinas, recogía de forma clara y ordenada los conocimientos esenciales que debía poseer un piloto. Todavía, a comienzos del siglo de las luces, la práctica del pilotaje seguía pareciéndose mucho a la utilizada en épocas anteriores, de ahí que

en este libro no se pueda observar aún el recurso a las matemáticas y a las complejas observaciones astronómicas que terminarían haciéndose habituales al final de esa centuria.

No obstante, pronto comenzaría a hacerse evidente una clara diferenciación entre los pilotos que solamente poseían conocimientos prácticos y aquellos otros que estaban en posesión de la teoría de la navegación basada en cálculos matemáticos y observaciones astronómicas. Buena prueba de ello será la publicación por parte del mencionado Pedro Manuel Cedillo de la obra *Trigonometría aplicada a la navegación*, con la que pretendía dotar de instrumentos matemáticos a aquellos pilotos que estuviesen en condiciones de poder utilizarlos.

A mediados del setecientos, el estado del Colegio de San Telmo era bastante lamentable. Sus principales objetivos fundacionales, la recogida de niños huérfanos y su formación como marinos, no se cumplían con la rigidez que era de esperar. En 1721 sólo el 23,3 % de los ciento siete alumnos de nuevo ingreso eran huérfanos de padre, pues había comenzado a aplicarse un proceso de selección en el que no se permitía la admisión en el centro a los descendientes de padres con oficios viles o mecánicos. Siguiendo con las cifras, aportadas en los trabajos de los profesores Sellés y Lafuente, de los 1.885 colegiales embarcados en 1743, solamente un 8,5 % había obtenido un empleo digno relacionado con los estudios que habían realizado (pilotos, segundos pilotos, pilotines, contramaestres, condestables) [10]. Posiblemente, el resto de los colegiales que después del viaje de prácticas centró su actividad profesional en asuntos relacionados con la navegación, lo hizo como grumetes y marineros. Esto refuerza aún más la idea ya apuntada sobre la utilización del Colegio por la Universidad de Mareantes como una fuente de mano de obra especializada y barata, más que como una escuela de pilotaje. Por otro lado, la mala gestión económica del centro y la falta de ingresos procedentes de las flotas del comercio de Indias, que entre 1739 y 1748 habían sido sustituidas por el sistema de navíos de registro, situó a esta institución docente sevillana ante la necesidad de proceder a realizar profundas reformas, tanto en los aspec-

[10] Véase Manuel A. Sellés y A. Lafuente, «La formación de los pilotos en la España del siglo XVIII»: J. L Peset (ed.), *La ciencia moderna y el nuevo mundo*, Madrid, 1985, pp. 149-191.

tos burocráticos como en los docentes. Sin embargo, las necesidades de la nueva organización de la Marina, fomentada por los gobiernos ilustrados, comenzaron a superar los resultados producidos por el Colegio, de ahí que la Secretaría de Marina e Indias se viese obligada a buscar nuevos caminos en la captación de los pilotos para la Armada. Este será el origen, como veremos más adelante, de la creación del Cuerpo de Pilotos y de las escuelas para su formación.

Como ya se ha dicho, la paulatina decadencia sufrida por las enseñanzas y la organización del Colegio de San Telmo, dio lugar a un intento gubernamental de mejorar la situación de la institución mediante la aplicación de una serie de reformas. Por un lado, la creciente liberalización del comercio con América estaba afectando seriamente a los recursos del Colegio. Por otro lado, las enseñanzas impartidas permanecían anquilosadas en las mismas materias que se estudiaban en la época de Pedro Manuel Cedillo, lo que situaba al centro en una insostenible situación de desfase. Esta crítica situación daría lugar a la aprobación de unas nuevas ordenanzas, dirigidas al establecimiento de un control más rígido sobre el funcionamiento de la institución y el rigor de los exámenes. Las nuevas ordenanzas establecieron una nueva contribución para el sostenimiento del Colegio, el 1 % de la plata de Indias, y fijaron el personal para el servicio de la institución:

— un director
— un capellán
— un contador y su oficial
— cuatro catedráticos de matemáticas y facultades náuticas
— un catedrático de comercio
— un maestro de primeras letras y su ayudante
— un maestro de dibujo
— un maestro de francés
— un maestro de inglés
— un mayordomo
— un enfermero
— un ropero
— un cocinero y su ayudante
— un mozo de cocina
— cuatro criados
— una guardia para la puerta
— un médico
— un cirujano sangrador

Según las nuevas *Ordenanzas para el Real Colegio de San Telmo de Sevilla* (1786), éste pasó a depender directamente de la Secretaría de Estado y del Despacho de Marina. El director sería de nombramiento real y representaría al gobierno en la institución. Fueron establecidas cuatro cátedras de matemáticas y una de comercio, además de las correspondientes clases de dibujo, inglés y francés. Los alumnos, cuyo número quedó establecido en doscientos, cursarían inicialmente las enseñanzas básicas (lectura, escritura), los idiomas y el dibujo. En una segunda fase, de cuatro años, pasarían a la aritmética, la geometría, la trigonometría plana, el álgebra, la mecánica, la artillería, la trigonometría esférica y la teoría de la navegación. Por medio de estos estudios, una parte de los alumnos, los menos aventajados, llegarían a la especialización en la maniobra de buques, la artillería naval o el comercio, mientras que el resto, los mejores dispuestos, llegarían a obtener el grado de pilotos.

La reorganización del colegio sevillano tendría, además, algunas influencias en otras ciudades. También por estos años, y siguiendo el modelo de organización ya establecido en Sevilla, fue fundado el Real Colegio de San Telmo de Málaga (1787). La misión de este nuevo centro de enseñanza era la misma que la de su homólogo sevillano: proporcionar una formación sólida y especializada en cuestiones náuticas a unos doscientos jóvenes.

El proceso de reorganización de las enseñanzas náuticas quedaría ultimado en los últimos años del siglo XVIII. En 1790, tras la aprobación de una *Instrucción general para la disciplina, estudio y exámenes en las escuelas reales y particulares de náutica del Reyno*, fueron normalizadas las características de todos los centros de enseñanza del pilotaje existentes en España. A partir de entonces, la Armada tomó las riendas de estas enseñanzas, determinándose que todas las escuelas debían tener dos maestros que fuesen pilotos de la Armada, destinados a tal efecto por el Comandante de dicho Cuerpo.

El plan de estudios propuesto para estos centros incluyó algunas novedades. Entre ellas, podría ser destacado el fomento del estudio de los métodos para hallar la longitud en el mar, tanto por las distancias lunares como por los cronómetros, y del método para calcular la latitud por observaciones astronómicas fuera del meridiano. Para poder acceder con facilidad a estos nuevos conocimientos se recomendaba a los alumnos la lectura de las tradicionales obras de Cedillo y de Barre-

da, para los temas prácticos, y de los más avanzados trabajos de Jorge Juan, Mendoza, Lalande y Tofiño.

A lo largo de todo el siglo xviii, los pilotos tuvieron que hacer un gran esfuerzo para situar su profesión al nivel de los últimos avances registrados por la ciencia. Las iniciativas tomadas por la Armada a fines del siglo xviii, en lo que se refiere a la renovación de los planes de estudio de las escuelas de náutica, significaron un serio compromiso con los avances registrados en las aplicaciones matemáticas y astronómicas a la navegación [11]. Tras una primera mitad de la centuria caracterizada por la utilización de las obras de Cedillo, la aparición del *Compendio de navegación* de Jorge Juan y el interés de la Armada por hacerse cargo de la formación de los pilotos, llevaron a esta profesión a alcanzar un nivel de especialización bastante importante. Después de las reformas introducidas en 1790, los pilotos no podrían practicar ya su profesión sin recurrir a los fundamentos teóricos de la misma y a la trigonometría esférica.

La Escuela de Náutica de Barcelona

La insuficiencia de los resultados obtenidos con el funcionamiento del Colegio de San Telmo trajo consigo, como ya se ha dicho, el inicio de la política oficial de creación de centros docentes para la formación de los oficiales que debían ser destinados a la Marina borbónica. La consiguiente recuperación de una parte del poder naval español favoreció directamente el desarrollo del comercio transoceánico en buques mercantes, para los que pronto se hizo sentir la necesidad de buenos marinos y pilotos. De esta forma, las ciudades con una actividad económica prometedora, basada en el comercio marítimo, tuvieron que tomar medidas para complementar las citadas deficiencias de los estudios náuticos instaurados a finales del siglo xvii.

El siglo xviii había comenzado para Barcelona con la autorización otorgada en 1715 para que se formase una compañía marítima catalana que podría enviar a las Indias dos navíos al año. El aumento de las transacciones comerciales en el puerto barcelonés impulsó la necesidad

[11] *Ibidem.*

de crear en la ciudad un centro de estudios náuticos y dio lugar a la fundación de la Real Compañía de Comercio de Barcelona (1755) y de la Real Junta Particular de Comercio de Barcelona (1758). La creciente actividad de la Compañía hizo notar rápidamente la escasez de pilotos y la deficiente formación de los pocos existentes. Después de una serie de intentos por parte de la Junta de Comercio, fue creada en 1769 una Escuela de Náutica, orientada hacia la enseñanza de técnicas de navegación más avanzadas, y dirigida por Sinibaldo Mas (1736-1806), que había obtenido en Cartagena los títulos de piloto de altura (1761) y primer piloto de altura (1768).

La procedencia de los alumnos, cuyo número aproximado debía ser veinte, sería de todos los puertos catalanes, proporcionalmente al número de inscritos en cada matrícula marítima (cuatro de Barcelona, seis de Mataró, cuatro de Sant Feliu de Guixols, cuatro de Tarragona y dos de Tortosa). Para conseguir una mayor calidad en la enseñanza impartida, la nueva escuela fue dotada con instrumentos náuticos, un globo celeste, un globo terráqueo, libros especializados y un modelo de navío para realizar las prácticas.

Desde un primer momento, la Junta de Comercio de Barcelona intentó que todos los patronos de embarcaciones cursaran obligatoriamente estudios en este centro. De esta forma, entre la fecha de creación y 1792 pasaron por la institución náutica barcelonesa un total de trescientos cincuenta y dos alumnos, cuya enseñanza alcanzó un nivel bastante aceptable. Gracias a esta iniciativa, Barcelona pudo contar, en los últimos años del siglo XVIII, con un centro del que salieron los marinos que pilotaron los buques catalanes por todo el mundo. Además, el director de la Escuela, a instancias de la Junta de Comercio, convirtió a la institución en un importante centro de producción cartográfica, de donde salieron obras tan interesantes como un mapa de América Septentrional, con las derrotas y las características de sus costas, un plano con explicación de derrotero de Cádiz a Nueva Veracruz y un plano del puerto y de la bahía de Barcelona.

Las Escuelas de Náutica de la Armada

La necesidad de contar con un número fijo de pilotos para el servicio de la Armada se hizo notar ya en la época de Patiño. De esta

forma, se intentaba poner fin al sistema utilizado hasta entonces, que consistía en contratar al personal necesario para el momento de cada embarque. Las ordenanzas de 1748 recogieron ya la creación de un Cuerpo de Pilotos dentro de la Marina. La organización de este nuevo cuerpo intentaba suplir la estructura náutica de la Casa de la Contratación. El comandante del Cuerpo recibiría el título de Piloto Mayor de la Armada y bajo su mando estarían dos Directores de Pilotos que, además de gobernar el cuerpo, asumirían las funciones de los cosmógrafos de la Casa de la Contratación: exámenes de pilotos, recopilación de los diarios y noticias de los viajes, formación de cartas y planos.

Los intentos de la Armada por asumir totalmente el control del pilotaje se completaron con la creación de una Escuela de Náutica en cada departamento. En estas escuelas se admitirían a todas las personas que quisieran ser pilotos, con la única condición de que supieran leer y escribir. Los alumnos admitidos cursaban unos estudios no muy elevados y especialmente prácticos, pues sólo se pretendía que aprendieran los rudimentos prácticos suficientes para manejarse en una nave, antes que formarlos en el conocimiento de los principios teóricos de la navegación. El plan de estudios aplicado en la Escuela establecida en Cádiz distribuía a los alumnos en tres clases. En la primera de ellas recibían una formación básica en la que tenían cabida los principios de aritmética, cosmografía, problemas de navegación, instrumentos, y trigonometría náutica. Después, embarcaban para un período de prácticas y pasaban a la segunda clase, donde obtenían conocimientos matemáticos un poco más profundos, fundamentos astronómicos y geográficos, métodos para hallar la longitud y la latitud, y levantamientos de planos de puertos. En la tercera clase un maestro delineador completaba lo estudiado anteriormente con nociones de dibujo.

Las Academias de Guardias Marinas

La transición del siglo XVII al XVIII vino acompañada por cambios muy significativos en la organización del sistema naval español. El poder naval español en el último período de los Austrias estaba organizado en armadas para el océano (Flandes, del Mar Océano, de la

Guarda de la Carrera de Indias, del Mar del Sur, de Barlovento) y en escuadras para el Mediterráneo (España, Génova, Nápoles y Sicilia). Se trataba de una flota anticuada e inconexa, que hacía muy difícil la estructuración de un sistema naval para defender los extensos dominios ultramarinos de la Corona española ante las amenazas, cada vez más importantes, de otras potencias como Francia e Inglaterra. De todas formas, durante el reinado de Carlos II fueron apareciendo algunas iniciativas favorables a la reorganización de la Armada, que, con el paso de los años, debía convertirse en una de las piezas clave de la vertebración del Estado.

Tras la llegada de los Borbones, los acontecimientos bélicos de los primeros años del XVIII, dejaron a la Marina en una pésima situación. Una de las primeras medidas tomadas por Felipe V fue el nombramiento de Patiño en 1717 como Intendente General de Marina, con el objetivo de que procediera a una seria reorganización del poderío naval español, algo que aparecía a los ojos del monarca como indispensable para elevar a España de nuevo a la categoría de potencia de primer orden. Patiño acumuló numerosas atribuciones relacionadas con la política naval: suministro de provisiones, política forestal, construcción naval, presidencia del Tribunal de la Casa de la Contratación. Fue, también, el impulsor de los grandes arsenales del XVIII (La Carraca, El Ferrol, Cartagena y La Habana) y de las industrias relacionadas con la construcción naval (brea, cordaje, aparejos).

No obstante, los planes de revitalización de la Marina propuestos por Patiño se encontraron ante una cruda realidad. Por un lado, la guerra había dejado las flotas en una situación bastante crítica y su personal, formado por oficiales de bajo rango, se encontraba sumido en la miseria y falto de conocimientos. Por otro lado, el Colegio de San Telmo de Sevilla no parecía capacitado, como ya se ha visto, para proporcionar un personal especializado al nivel que exigía la nueva política naval borbónica.

Ésta era la situación cuando, en 1717, fue abierta la Academia de Guardias Marinas de Cádiz, con la que Patiño intentaría conseguir la formación de una oficialidad instruida, procedente de la baja nobleza, a la que se pretendía dar una ocupación militar digna de su rango. El funcionamiento de la nueva institución docente gaditana estaría regido por un documento firmado por Patiño en ese mismo año, la *Instrucción para el Gobierno, educación, enseñanza y servicio de los Guardias Marinas,*

y obligación de sus oficiales y Maestros de facultades. La idea de Patiño era orientar la nueva institución hacia la formación de un personal que, además de recibir el clásico adiestramiento militar propio de una academia castrense, adquiriese los conocimientos científicos necesarios para estar preparado en caso de tener que asimilar e introducir en nuestro país las novedades científicas producidas en el extranjero, que pudiesen tener una aplicación práctica y positiva en cualquiera de los aspectos relacionados con la navegación. Esto dio lugar a una complicada superposición de estructuras, la militar y la docente, cuyas relaciones dieron lugar a numerosos problemas durante la primera etapa del funcionamiento de la Academia.

La *Instrucción* dada por Patiño para la organización de la Academia estableció un plan de estudios en el que, durante dos períodos semestrales, tenían cabida las siguientes materias: geometría, trigonometría, cosmografía, náutica, fortificación, artillería, armamento, danza, manejo de fusil, evolución militar, construcción naval y maniobra de naos. Una vez superado este período académico, los cadetes embarcaban para ejercitarse en el pilotaje y la hidrografía. Un piloto sería el encargado de enseñarles a construir la rosa de los vientos, formar el diario de navegación, observar la máxima altura del Sol y determinar la longitud, usar la corredera y las cartas de navegación, además de realizar ejercicios militares y prácticas de artillería.

La realidad no fue tan perfecta y los futuros oficiales no llegaron a cursar con detenimiento todas las materias. No obstante, el camino hacia la formación de oficiales se había iniciado y parecía claro que la nueva Academia sí iba a lograr lo que no había podido conseguir el Colegio de San Telmo: la formación de personas con un buen conocimiento del pilotaje. La elección de Francisco Antonio de Orbe, Piloto Mayor de la Casa de la Contratación, y de Pedro Manuel Cedillo, profesor del Colegio de San Telmo, como primeros responsables de la institución docente gaditana iba encaminada, sin lugar a dudas, hacia ese objetivo. Según un reciente estudio de los profesores Lafuente y Sellés, parece ser que las obras utilizadas como libros de texto fueron el *Compendio de navegación* (Sevilla, 1717), de Pedro Manuel Cedillo, la *Trigonometría aplicada a la navegación* (Sevilla, 1718), del mismo autor, los *Elementos geométricos de Euclides* (Bruselas, 1689) de Jacobo Kresa y algunos de los volúmenes del *Compendio matemático* (Valencia, 1709-

1715), del padre Tosca [12]. Sin embargo, el rechazo de los cadetes a tan profundos conocimientos matemáticos hace dudar sobre el nivel de utilización de estos manuales. A pesar de las intenciones de Patiño, orientadas hacia la consecución de un oficial científico para la nueva Marina ilustrada, resultaba bastante difícil hacer comprender la necesidad del aprendizaje científico a unos cadetes procedentes de la nobleza, más preocupados por los aspectos castrenses que por los científicos.

En 1734, Diego Bordick, «Brigadier Ingeniero Director de los ejércitos de S.M.», redactó un nuevo plan de estudios, bastante avanzado en lo que se refiere a las materias matemáticas y al sistema de estudio. Este nuevo plan intentaba sustituir al antiguo método de lectura diaria de las lecciones por un modelo más favorable a la controversia y a la discusión de los puntos peor comprendidos por parte de los alumnos. De todas formas, esta nueva iniciativa reformadora terminaría tropezando con los mismos obstáculos que habían encontrado los anteriores responsables de la Academia. Entre los principales problemas planteados en este sentido, podrían citarse los siguientes: la apatía de los alumnos ante las disciplinas científicas, las tensiones entre la comandancia de la Compañía de Guardias Marinas y la dirección de la Academia (relación estructura militar-estructura docente) y los apuros económicos de los profesores, que no recibían sus honorarios con regularidad.

La evolución de la Academia de Guardias Marinas y de los planes de estudio de los futuros oficiales tuvo un hito importante en la aprobación de las *Ordenanzas de S.M. para el gobierno militar, político y económico de su Armada Naval* (Madrid, 1748), en las que fueron incluidos algunos artículos relativos a la organización de la institución docente gaditana. En primer lugar, se intentó poner fin a la tensión existente entre el director de la Academia y el comandante de la Compañía. Para ello se decidió someter al primero de ellos a las disposiciones relativas a la organización emanadas de la comandancia de la Compañía. Las enseñanzas volvieron a ser estructuradas, planteando como objetivo básico de la institución la formación de los cadetes en todo lo referente a la navegación, para lo que se insistía en el estudio teórico de todas las ciencias consideradas necesarias para ello.

[12] Véase A. Lafuente y M. Sellés, *El Observatorio de Cádiz (1753-1831)*, Madrid, 1988.

Aquellos alumnos que demostrasen su capacidad en los mencionados cursos, podían aplicarse, según quedaba expresado en las mismas ordenanzas, al estudio de las ciencias matemáticas más abstractas y difíciles, como el álgebra y la geometría superior, siguiendo siempre las inclinaciones naturales de cada uno de ellos.

Con el reinado de Fernando VI se inició un período de reformas que afectaría directamente al funcionamiento de la Academia de Guardias Marinas de Cádiz. El marqués de la Ensenada, verdadero hombre fuerte del Gobierno, promovió una serie de medidas dirigidas a fortalecer la estructura del Estado, poniendo especial atención en las relacionadas con la reorganización de la Marina. La necesidad de recuperar la presencia internacional española como potencia de primer orden y el interés por reactivar el tráfico comercial y las comunicaciones con América, incidieron en la publicación de unas ordenanzas como las de 1748, en el impulso a los arsenales y en la reforma de la instrucción impartida a los futuros oficiales.

El personaje encargado de llevar adelante la reestructuración de la institución destinada a la instrucción científica de los oficiales, que debían gobernar los nuevos buques que estaba previsto construir, fue el marino y científico Jorge Juan, cuya participación en la expedición franco-española para la medida del arco de meridiano y sus posteriores viajes de espionaje industrial a Inglaterra le habían convertido en el hombre idóneo para ese cometido. Jorge Juan se encargó de la contratación del profesorado y del encauzamiento de las propuestas consignadas en las ordenanzas de 1748. El marino alicantino dirigió sus esfuerzos hacia la estructuración de unas enseñanzas capaces de preparar a los oficiales para dirigir un navío. Para ello no dudó en imponer un profundo estudio de las matemáticas, que debían ser la base de la adquisición de otros conocimientos. Mientras tanto, como consecuencia de su oposición al antiguo sistema de lectura y copiado de las lecciones, promovió la publicación de nuevos libros de texto para ser utilizados por los alumnos. Precisamente, él sería uno de los pioneros de esta nueva actitud con la publicación de su *Compendio de navegación* (Cádiz, 1757), una obra que puede ser considerada como la introductora en España de la navegación por métodos científicos y que supuso un paso importante en el tránsito del arte de navegar a la ciencia de la navegación.

El plan de estudios propuesto por Jorge Juan se componía de seis clases o cursos, cuatro elementales y dos superiores, a los cuales acce-

derían los cadetes después de superar un examen de lo estudiado anteriormente. Los alumnos menos dotados para las matemáticas pasarían directamente de la primera a la cuarta clase, donde aprenderían la práctica de la navegación y se formarían como buenos pilotos. Las disciplinas impartidas en cada curso serían las siguientes:

Ciclo elemental

Curso 1.º: aritmética.
Curso 2.º: geometría elemental.
Curso 3.º: trigonometría plana y esférica, esfera y problemas.
Curso 4.º: navegación, geografía e hidrografía

Ciclo superior

Curso 5.º: repaso del primer ciclo, geometría, fortificación, mecánica, máquinas, fluidos y construcción naval.
Curso 6.º: astronomía, álgebra y geometría superior

Todas estas medidas de reactivación fueron completadas con la adquisición de libros y instrumentos científicos y con la creación de un observatorio astronómico anexo a la Academia, en el que los oficiales más adelantados pudiesen completar con observaciones los conocimientos teóricos de astronomía impartidos en el centro. Este observatorio, al que nos referiremos más adelante con detenimiento, terminaría convirtiéndose en una de las instituciones científicas más características de la ilustración española. Se puede decir, como afirman los profesores Lafuente y Sellés, que con Jorge Juan terminaron treinta años de tanteos y reformas que habían conseguido elevar de forma ostensible el nivel de preparación de los oficiales de la Armada [13]. Medidas como la creación del Observatorio y la reforma de los planes de estudio transformaron a la Academia en un centro de enseñanzas especializado y en un foco de difusión de la ciencia, cuyo principal objetivo era proporcionar al Estado y a la Armada personal técnico de alto nivel capacitado para tomar las riendas de los proyectos científicos y técnicos que caracterizaron a la centuria ilustrada.

[13] *Ibidem.*

Pero todo este proceso de reformas comenzaría a tener problemas muy pronto. La caída en desgracia del marqués de la Ensenada (1754), con la consiguiente pérdida de influencia de Jorge Juan en las altas esferas, fue la primera señal de una nueva época de crisis. Más adelante, la muerte del director de estudios, Luis Godin, acentuaría la crítica situación de la Academia, cuyo estado se acercaba por momentos al que había tenido antes de la llegada a Cádiz de Jorge Juan. A la pésima situación de los aspectos docentes habría que añadir, además, el estado ruinoso de los locales del Castillo de la Villa de Cádiz, en el que se encontraban instalados la Academia y el Observatorio. La situación llegó a ser tan grave que, en 1769, tuvo que procederse urgentemente a trasladar la Academia a unas instalaciones provisionales en la Isla de León. De esta forma, el Observatorio instalado en un torreón del castillo quedaría aislado de la Academia, lo que hacía pensar en un rápido abandono de las enseñanzas prácticas de astronomía.

Hacia 1770, fecha en la que Jorge Juan fue nombrado director del Seminario de Nobles, el número de embarcaciones de la Armada española había registrado un sensible aumento. La necesidad de oficiales para sus dotaciones dio lugar a una drástica reducción de la duración de los estudios impartidos en la Academia de Guardias Marinas de Cádiz, de la que comenzaron a salir una serie de promociones de oficiales con una preparación bastante escasa y superficial. En 1776 se decidió aumentar el número de cadetes admitidos y fundar dos nuevas academias dependientes de la de Cádiz, una en Ferrol y otra en Cartagena. Unos años después, en 1783, se procedería a la reforma de los planes de estudio en los que, teniendo en cuenta la orientación náutica e hidrográfica que debía caracterizarlos, fue incluido el aprendizaje de los métodos para determinar la longitud puestos a punto durante aquel siglo, que, como ya hemos visto, eran el de los cronómetros marinos y el de las distancias lunares.

De todas formas, el gran desarrollo constatado en las ciencias náuticas desde mediados de siglo hizo necesaria la articulación de unos estudios especializados dirigidos a los oficiales que, una vez recibida en la Academia la formación básica en cuestiones prácticas y científicas, mostrasen una mayor inclinación hacia estas últimas. Fueron los llamados estudios «mayores» o «sublimes», de los que hablaremos en las páginas siguientes.

V

LA MARINA Y LA CIENCIA

La expedición al Ecuador (1735-1744)

Podemos decir, sin temor a equivocarnos demasiado, que la incorporación de España a la astronomía moderna es una consecuencia directa de la colaboración con Francia en la solución del problema sobre la figura de la Tierra. Según las ideas defendidas por Newton, la Tierra no podía tener una figura totalmente esférica, sino más bien la de un elipsoide de rotación achatado por los polos. Sin embargo, destacados miembros de la Academia de Ciencias de París se mostraban partidarios de la teoría contraria, es decir, del aplastamiento por el Ecuador. Consecuencia de esta polémica fue la organización de dos expediciones científicas que habrían de contribuir a la solución del problema, mediante la medida del arco de meridiano en dos lugares bien distantes: Laponia, cerca del Polo Norte, y Quito, junto al Ecuador.

Dado que los territorios de esta última zona pertenecían a la Corona española, el gobierno francés tuvo que solicitar un permiso para poder realizar las trabajos científicos necesarios. La autorización fue concedida con la única condición de que dos españoles acompañasen a los expedicionarios franceses. Los elegidos fueron dos oficiales de la Armada recién salidos de la Academia de Guardias Marinas de Cádiz: Jorge Juan y Antonio de Ulloa. Las operaciones se desarrollaron entre 1735 y 1744, y en ellas los dos jóvenes marinos españoles tuvieron ocasión de ponerse al día en los avances científicos de la época. Producto de aquellos años de trabajo fueron dos de las obras científicas más significativas del siglo XVIII español: *Observaciones astronómicas y physicas...* y *Relación del viaje a los reynos del Perú...*, firmadas por los dos

científicos españoles y publicadas en 1748, antes incluso que aquellas que habían sido redactadas por los académicos franceses a quienes acompañaron (Bouguer, La Condamine) [14].

Al regreso de la mencionada expedición, y tras la publicación de sus resultados, favorables a las teorías defendidas por Newton, el gobierno de Fernando VI fue tomando conciencia de la necesidad de implantar en España uno o más centros donde se llevasen a cabo investigaciones científicas de carácter astronómico. La difusión de las teorías newtonianas había colocado a la física y la astronomía en la vanguardia de la ciencia moderna. La astronomía, concretamente, se había convertido en una disciplina científica con un gran prestigio social y un importante grado de institucionalización, características que fueron haciéndose cada vez más patentes conforme avanzaba el siglo.

La expedición a Laponia, dirigida por Maupertuis, estuvo integrada por los franceses Clairaut, Camus, Le Monnier y Outhier, y por el sueco Celsius. Sus trabajos se desarrollaron en los alrededores del curso del río Tornea entre 1736 y 1737.

La expedición al Ecuador estuvo rodeada de numerosos problemas, debido sobre todo a la fuerte personalidad de sus integrantes y a los problemas de diversa índole surgidos durante su estancia en la zona elegida para los trabajos. La Academia de Ciencias de París nombró como integrantes de la comisión que debía viajar al Ecuador a los académicos La Condamine, Bouguer y Godin, que fueron acompañados por el botánico Jussieu, un dibujante, un cirujano y un relojero. El lugar elegido para llevar a cabo las observaciones fue el territorio de Quito, en el virreinato del Perú. Como ya se ha visto, Felipe V autorizó la expedición, después de que la solicitud presentada por el embajador francés a José Patiño en marzo de 1734 hubiese sido informada favorablemente por el Consejo de Indias, y la única condición impuesta por el monarca fue la participación en los trabajos de dos científicos españoles.

La idea del Consejo de Indias era enviar a la expedición dos jóvenes marinos con una cierta preparación en matemáticas y astronomía, que estuvieran dispuestos a aprender de los académicos franceses y a anotar todas las experiencias y mediciones realizadas, para que la Corona pudiese tener en todo momento constancia de los trabajos rea-

[14] Véase A. Lafuente y A. Delgado, *La geometrización de la Tierra*, Madrid, 1984.

lizados en sus territorios. Dado que el objeto principal de la expedición, según habían manifestado los franceses en su solicitud, era la medición del grado de meridiano terrestre, trabajo cuyos resultados influirían directamente en la navegación, y además se proponían cartografiar la costa del Perú, pareció conveniente encargar este trabajo a los marinos, a los que interesaba especialmente el éxito de las observaciones. Para ello fueron designados dos jóvenes guardias marinas que, a pesar de ello, acumulaban ya una cierta preparación matemática y marítima. Los elegidos, Jorge Juan y Antonio de Ulloa, fueron ascendidos al empleo de tenientes de navío y partieron hacia América en 1735. Durante el viaje se dedicaron a realizar diversas observaciones meteorológicas, además de elaborar una tabla con las variaciones de la aguja magnética observadas desde la salida del puerto de Cádiz. Una vez en Cartagena de Indias tomaron contacto con los expedicionarios franceses y pudieron conocer y manejar algunos de los instrumentos científicos más avanzados de la época, como por ejemplo el octante de Hadley. De todas formas, su campo de acción no se ceñiría solamente a las observaciones astronómicas. También se ocuparon de la meteorología, la historia natural y las noticias históricas y económicas de las regiones por las que transitaban.

Entre las instrucciones dadas por José Patiño en 1735 a los jóvenes marinos designados para cumplir la comisión estaban las siguientes: formar el diario de la navegación a América, colaborar en las observaciones de los franceses, levantar planos de ciudades, puertos y fortificaciones, calcular la posición geográfica de los lugares visitados y hacer observaciones de vientos, corrientes y profundidades. En líneas generales, puede decirse que los expedicionarios debían llevar a cabo dos tipos de acciones. En primer lugar, los trabajos geodésicos y cartográficos, dirigidos al reconocimiento de una amplia zona de terreno. En segundo lugar, los trabajos estrictamente astronómicos dirigidos hacia la determinación precisa del meridiano y la amplitud del arco recorrido con la intención de obtener la longitud de un grado de meridiano. La idea de la expedición era, como ya se ha dicho, obtener esta medida y comparar sus resultados con los obtenidos en Laponia para poder cuantificar de esta forma la variación de la curvatura de la superficie terrestre según la latitud.

Durante los dos primeros años de la estancia de los científicos en la zona elegida fueron realizados los trabajos relacionados con la me-

dición de la distancia entre dos puntos alejados, por medio de procedimientos geodésicos (triangulación). Una vez terminados los trabajos geodésicos, habría que emprender la determinación de la posición geográfica de los extremos de la triangulación. A partir de entonces, la astronomía sería la principal actividad llevada a cabo por los expedicionarios, pues los métodos empleados para el cálculo de la latitud y la longitud se basaban principalmente en las observaciones astronómicas.

La estancia de los marinos españoles en Quito se vio alterada en dos ocasiones por cuestiones bélicas. La primera de estas interrupciones tuvo lugar en 1741, cuando, con motivo de la declaración de guerra entre España e Inglaterra, tuvieron que partir hacia Lima reclamados por el virrey del Perú. A los pocos meses de su vuelta a Quito tuvieron que partir de nuevo hacia Guayaquil y Lima, donde el virrey les asignó el mando de dos fragatas, con las que debían vigilar los movimientos de las naves inglesas. Durante dos años navegaron por las costas del océano Pacífico, aprovechando la ocasión para realizar nuevas observaciones meteorológicas y magnéticas y reunir datos acerca de las regiones visitadas.

Cuando volvieron a Quito sólo Godin permanecía allí, pues La Condamine y Bouguer habían partido hacia Francia después de dar por terminadas las observaciones. Durante la primera parte de 1744, Jorge Juan y Antonio de Ulloa finalizaron todos los trabajos que habían dejado pendientes antes de ser embarcados. Tras asegurarse de que los resultados de los trabajos científicos allí realizados no se perderían, dejando un extracto de ellos en la Secretaría del virrey del Perú, partieron en buques distintos hacia España. Jorge Juan llegó a Francia a finales de 1745 y, tras una estancia en París, pasó rápidamente a España. Ulloa, sin embargo, tuvo más problemas en el viaje de regreso pues su barco, de bandera francesa, fue apresado por los ingleses. Estuvo retenido durante algún tiempo en Inglaterra hasta que en 1746 fue autorizado a volver a España.

Los resultados obtenidos en la expedición al Ecuador, y su comparación con los de Laponia, sirvieron para confirmar la validez de la teoría de Newton sobre la forma de la Tierra, partidario de definirla como un elipsoide achatado por los polos. Pero además, la expedición a Quito tuvo un interés muy especial. Dos jóvenes marinos españoles pudieron tomar contacto durante varios años con algunos de los más importantes científicos europeos del momento. Con ello consiguieron

completar su inicial formación científica y náutica, gracias a las ricas aportaciones de sus compañeros de viaje. Jorge Juan y Antonio de Ulloa se convirtieron en una pieza clave del desarrollo científico español de la segunda mitad del siglo XVIII. Además de las obras con los resultados de la expedición, aportaron la experiencia adquirida en tan singular viaje a todos los trabajos que emprendieron años más tarde al servicio de la Marina y del Estado.

Los marinos españoles fueron los primeros en publicar los resultados científicos de los trabajos llevados a cabo durante la expedición, en unas obras que pueden ser consideradas como una de las más importantes aportaciones de la ciencia española de la Ilustración. Las *Observaciones astronómicas y physicas...* (Madrid, 1748), redactadas por Jorge Juan, constan de nueve libros en los que, además de tratar sobre la determinación de la medida del arco de meridiano en el Ecuador, se presentan los resultados de diversas observaciones físicas y astronómicas realizadas durante el tiempo que duró la expedición. El carácter copernicano de muchas de las argumentaciones de Jorge Juan trajo como consecuencia algunos problemas con la Inquisición. Francisco Pérez de Prado, el Inquisidor General, exigió que, al citar las teorías de Newton y Huygens sobre el movimiento de la Tierra, se explicase que se trataba de algo condenado por la Iglesia. Tras algunas gestiones, se llegó a la solución intermedia de añadir la frase «aunque esta hipótesis sea falsa», después de mencionar las citadas teorías. A pesar de estos obstáculos, los marinos españoles consiguieron, como ya se ha dicho, que la edición de los resultados de la expedición se llevase a cabo en España antes que en Francia. Bouguer publicaría su obra titulada *La figure de la Terre* en 1749 y La Condamine haría lo mismo con su libro *Mesure des trois premiers degrés du meridien* en 1751.

La otra obra que surgió como consecuencia directa de la expedición es la *Relación histórica del viaje...* (Madrid, 1748), formada por cuatro volúmenes y redactada por Antonio de Ulloa. Se trata de una de las grandes obras científicas escritas sobre América en el siglo XVIII, solamente comparable, según Horacio Capel, a la realizada medio siglo más tarde por Alejandro Humboldt [15]. La *Relación histórica del viaje...*

[15] Véase H. Capel, *Geografía y matemáticas en la España del siglo XVIII*, Barcelona, 1984.

recoge, además del relato del viaje de los expedicionarios y de la descripción de los lugares visitados, numerosas observaciones sobre vientos, mareas, variaciones de la aguja y características de la navegación por las costas del Pacífico en la América del Sur.

Aunque tenga poco que ver con el objetivo de nuestro trabajo, no podemos dejar de hacer mención a la existencia de otro importante fruto de la expedición de Juan y Ulloa. Paralelamente a las misiones científicas que les fueron encomendadas, los dos jóvenes oficiales de la Marina redactaron un informe reservado sobre la situación política y militar de los territorios americanos. Este informe, entregado para uso exclusivo del Gobierno y de los altos funcionarios de la administración de las Indias, no fue divulgado hasta su publicación en 1826 por un editor inglés, bajo el título de *Noticias secretas de América.* Aunque el objeto principal del informe era la descripción de la situación administrativa, política y económica de los territorios de la Corona, las *Noticias secretas de América* comienzan con una serie de capítulos dedicados al análisis del estado de los puertos y de las flotas de la costa del Pacífico. Juan y Ulloa redactaron una detallada descripción de la situación general de las fuerzas navales asignadas a la zona del Mar del Sur, que sirvió para poner en evidencia los enormes problemas y deficiencias que tenía la defensa de las plazas americanas y el mantenimiento del poder español en sus extensos territorios. Otro aspecto importante puesto en relieve por el informe de los dos marinos españoles fue el referente a la mala administración y al consecuente despilfarro económico. La toma de contacto con la situación negativa de la administración americana, caracterizada por el desorden y la venta de cargos, fue el primer paso dado por el gobierno español para actuar con propiedad a la hora de aplicar en América las reformas ilustradas que ya se estaban llevando a cabo en España.

El Real Observatorio de Cádiz

Si establecemos que el equipamiento básico de un observatorio astronómico del setecientos debía estar compuesto por un cuarto de círculo mural, un anteojo de pasos y un péndulo astronómico, puede decirse que en España no existió ningún establecimiento de este tipo hasta la fundación del Real Observatorio de Cádiz. El proyecto de es-

tablecer en esta ciudad un observatorio fue propuesto al marqués de la Ensenada por Jorge Juan, con la pretensión de invertir en este asunto los fondos que se gastaban en pensionar cadetes para que estudiasen en Londres. De esta forma, su idea era la de construir un centro que atendiese las necesidades de la Armada, concibiéndolo como un lugar de adiestramiento técnico anexo a la Academia de Guardias Marinas. La idea tuvo buena acogida por parte de las instancias superiores, pues los gobiernos de la época tenían bastante interés en dotar al país de instituciones científicas similares a las del resto de Europa.

También Jorge Juan, figura clave en las cuestiones navales y científicas del XVIII español, fue el primero en sugerir la idea de la necesidad de erigir un observatorio astronómico en la Corte. Sin embargo, aunque la propuesta fue bien acogida por Carlos III, que rápidamente ordenó la construcción del edificio al afamado arquitecto Juan de Villanueva, este proyecto no se vería realizado hasta finales de la centuria. Mientras tanto, Salvador Jiménez Coronado, que sería el primer director del centro, fue enviado al extranjero con la intención de que adquiriese los conocimientos necesarios para tal cargo. El edificio diseñado por Villanueva no comenzó a ser construido hasta 1790, fecha en la que también puede situarse el inicio de la formación de su futuro personal y las primeras adquisiciones de instrumentos. Merece especial atención en este caso la adquisición del gran telescopio de Herschell, uno de los más grandes de Europa, que no pudo llegar a ser utilizado ya que fue destruido por las tropas francesas durante la ocupación de la Guerra de la Independencia.

Como hemos dicho anteriormente, España había comenzado a recuperar su carácter de potencia marítima, después de la postración que había sufrido tras la decadencia del siglo anterior y las consecuencias de la Guerra de Sucesión. En este contexto, de apoyo a la Marina y a la ciencia por parte de los gobiernos ilustrados, tuvo lugar la creación del Real Observatorio de Cádiz. Después de participar en la expedición al Perú, organizada por la Academia de Ciencias de París, para proceder a la medida del grado de meridiano en aquellas latitudes, Jorge Juan propuso al marqués de la Ensenada la creación de un observatorio astronómico que pudiese competir con los ya existentes en otras monarquías europeas. Se decidió, entonces, la instalación en el Castillo de la Villa de Cádiz, sede de la Academia de Guardias Marinas, de un observatorio astronómico para que los futuros oficiales de

la Armada pudieran aprender y dominar una ciencia tan necesaria para la navegación como era la astronomía [16].

En noviembre de 1749 Jorge Juan propuso desde Londres la creación del Observatorio. Unos años más tarde, en 1753, ya habían llegado los primeros libros e instrumentos, y el torreón del Castillo de la Villa había sido acondicionado. Muy pronto, el Real Observatorio de Cádiz se convertiría en uno de los mejor dotados de Europa. Por la documentación conservada y la descripción hecha tiempo después por Tofiño y Varela, en las primeras observaciones astronómicas hechas en el Observatorio (Cádiz, 1776-1777), parece ser que los instrumentos encargados a Londres fueron los utilizados durante el primer período de funcionamiento del centro. Es muy interesante, en este sentido, la información proporcionada por el primer inventario de los instrumentos científicos, en el que podemos seguir las vicisitudes de su utilización en las grandes expediciones científicas de los últimos años del siglo XVIII [17]. Sobre el local donde había sido instalado el Observatorio hemos podido encontrar esta breve descripción en los preliminares del *Almanaque náutico para 1792*:

> La pieza destinada para las observaciones astronómicas es una sala que tiene 11,5 varas en quadro, y está formada sobre la fuerte y espesa bóveda de un torreón antiguo, cuya construcción y figura dan bastantes señas de ser obra de los romanos. La anchura de sus muros y firmeza de sus cimientos hacen de este edificio uno de los más sólidos de Cádiz...

Nació, de esta forma, un centro de investigación astronómica estructuralmente unido a una institución docente como la Academia de Guardias Marinas, característica que conservaría hasta que, en 1804, se produjese el nombramiento de un director para el Observatorio, desde entonces totalmente independiente de la Academia. Las primeras ac-

[16] Sobre la historia del Observatorio de la Marina, además de la obra de A. Lafuente y M. Sellés citada en diversas ocasiones, puede consultarse D. Almorza, *El Observatorio Real de Cádiz y su traslado a San Fernando*, San Fernando, 1977; F. J. González, *Historia del Observatorio de San Fernando (1831-1924)*, en prensa.

[17] Inventario general de los instrumentos pertenecientes al Observatorio Real de Cádiz (Cádiz, 11 de febrero de 1789), conservado en la Biblioteca del Real Observatorio de la Armada de San Fernando.

ciones llevadas a cabo, tras el visto bueno del marqués de la Ensenada al proyecto, fueron la adquisición de instrumentos astronómicos en Londres y París, llegados a Cádiz en 1753, el nombramiento del sabio francés Luis Godin como director de la Academia de Guardias Marinas, de la que, como ya hemos dicho, dependía el recién creado Observatorio, y el arreglo y acondicionamiento de la torre del Castillo que había sido elegida para su emplazamiento. A partir de entonces, iniciaría su andadura científica y docente un nuevo observatorio astronómico europeo, el que dispondría de una mayor cantidad de días despejados y de una localización más meridional. Transcurrieron, después, unos primeros años de titubeos y organización, mientras se formaban los primeros oficiales aptos para manejar los costosos y precisos instrumentos con que se le había dotado.

Realmente, los resultados logrados mediante las escasas y ocasionales series de observaciones emprendidas durante la primera etapa de la vida del establecimiento, si bien poseen un marcado valor histórico, pues fueron las primeras, tienen un valor científico relativo, dado su caracter esporádico y asistemático. Fue a partir del período en el que ostentó la dirección Vicente Tofiño cuando, con la consideración exhaustiva de los errores de los instrumentos y el empleo de distintos métodos, instrumentos y series de observaciones, se empezó a dotar a los resultados de una solidez científica importante.

Tras esta primera etapa, se constata un período de escasos trabajos astronómicos, marcado por la muerte de Luis Godin (1760) y por el traslado de la Academia de Guardias Marinas a la Isla de León (1764), mudanza que dificultaba enormemente la tarea de aquellos que debían viajar a Cádiz para realizar las observaciones en el Castillo. No obstante, la decisión de la Marina de apoyar la participación española en la observación del tránsito de Venus por el disco del Sol que habría de producirse en 1769, sirvió para revitalizar los trabajos del Observatorio de Cádiz, encargado de hacer sus observaciones y de colaborar en la preparación del viaje de los marinos españoles Salvador Medina y Vicente Doz, que se integraron en la expedición francesa a California, dirigida por Chappe d'Auteroche. Tras esta campaña observacional, los contactos realizados con otros observatorios europeos contribuyeron, en gran medida, al conocimiento exterior de sus trabajos. Se reforzó, así, la posición e importancia del Observatorio dentro de la Academia de Guardias Marinas y de la Armada. El Real Observatorio de Cádiz

OBSERVACIONES

ASTRONOMICAS

HECHAS EN CADIZ,

EN EL OBSERVATORIO REAL DE LA COMPAñIA

DE

CAVALLEROS GUARDIAS-MARINAS,

POR EL CAPITAN DE NAVIO GRADUADO D. VICENTE Tofiño de S. Miguel, Director de la Academia de Cavalleros Guardias-Marinas, y por D. Joseph Varela, Capitan de Fragata de la Real Armada, y Maestro de Mathematicas en la misma Academia, ambos de la Sociedad Bascongada, y Correspondientes de la Academia de Ciencias de Paris.



IMPRESAS DE ORDEN DE S. M.

En la Imprenta de la Compañia de Cavalleros Guardias-Marinas, Año de 1777.

Figura 20. Portada de las *Observaciones astronómicas hechas en Cádiz*, por Vicente Tofiño y José Varela (Cádiz, 1777).

se consolidó entonces como una de las más importantes instituciones científicas de la España ilustrada.

Durante la segunda mitad del siglo XVIII, coincidiendo con los momentos más álgidos del reformismo borbónico y del impulso oficial a las actividades científicas, el observatorio gaditano se convirtió en una escuela práctica de astronomía para marinos científicos, que gracias a esta preparación podrían participar en las importantes expediciones cartográficas de finales de siglo. Ésta fue la principal misión de los llamados «estudios mayores», curso de ampliación y especialización por el que fueron pasando la mayor parte de los oficiales científicos de la Marina ilustrada. Por otro lado, bajo el mando de un personaje como Vicente Tofiño se llevaría a cabo el primer programa sistemático español de observaciones astronómicas, desarrollado entre 1773 y 1776, cuyos primeros resultados vieron la luz unos años más tarde [18].

A mediados de la década de los setenta, tras la llegada al poder de Floridablanca, va tomando forma la idea de la necesidad de establecer sin tardanza un plan nacional de trabajos hidrográficos. El estado necesitaba de nuevo al Real Observatorio de Cádiz y a los oficiales que en él se habían formado. Vicente Tofiño fue encargado de la dirección de la Comisión Hidrográfica de las Costas de España, que estaría formada por un grupo de oficiales de los destinados en el Observatorio. De sus ingentes trabajos, surgiría el *Derrotero de las costas de España en el Mediterráneo* (1787), el *Derrotero de las costas de España en el océano Atlántico* (1789) y el *Atlas marítimo de España* (1789).

Antes de que le afectara la crisis de la Marina provocada por los acontecimientos bélicos de los primeros años del siglo XIX, el Observatorio de la Marina consiguió sustanciales mejoras materiales, gracias a la construcción de un nuevo edificio en la Isla de León. El traslado de la Academia de Guardias Marinas a esa misma ciudad, efectuado en 1769, había dejado en una complicada situación al personal de la misma que debía encargarse de las observaciones, pues desde entonces debían desplazarse a Cádiz por las noches para poder observar desde el torreón del Castillo de la Villa, donde sólo había quedado el Observatorio.

[18] V. Tofiño y J. Varela, *Observaciones astronómicas hechas en Cádiz, el Observatorio Real...*, Cádiz, 1776-1777.

Por otro lado, el deficiente estado de conservación de este edificio y el deterioro de los instrumentos astronómicos dieron lugar a insistentes peticiones de reforma y a la propuesta de construir un nuevo observatorio. En 1792 fue aprobado por la Armada un plan para organizar un núcleo de instituciones dedicadas a las ciencias náuticas en San Carlos, población militar situada en la Isla de León, donde radicaban la mayor parte de las dependencias del Departamento Marítimo de Cádiz. La intención inicial era reunir en un mismo lugar una biblioteca general de temas navales, la colección hidrográfica de la Marina, gabinetes de física, química, mecánica, construcción naval e historia natural y una colección de instrumentos náuticos. Todo ello quedaría completado con el traslado del Observatorio a las cercanías de aquellas dependencias.

José de Mazarredo fue el encargado de tomar contacto con el marqués de Ureña, afamado arquitecto, con cuyo consejo debía localizar una ubicación ideal para el nuevo edificio. El lugar más apropiado para ello fue el cerro de Torre Alta, desde el que se dominaba toda la población de la Isla de León y una gran parte de la bahía de Cádiz. Una vez elegido el emplazamiento, Mazarredo tuvo que optar entre los proyectos de edificio presentados por el marqués de Ureña y por Vicente Tofiño. Diversas circunstancias, entre las que podrían ser destacados los defectos arquitectónicos del proyecto de Tofiño, inclinaron la balanza hacia la construcción del edificio propuesto por el marqués de Ureña. Las obras se llevaron a cabo entre 1793, año en el que se puso la primera piedra del nuevo Observatorio, y 1798. De esta forma, la Marina pudo contar con un Observatorio cuyas instalaciones estaban recién inauguradas en los inicios del siglo XIX. Estas instalaciones, diseñadas por el marqués de Ureña y construidas bajo su dirección, estaban formadas por un edificio principal, también llamado observatorio, y por la casa de astrónomos.

El edificio principal era una construcción de planta cruciforme con tres cuerpos, cuya fachada, dotada de un gran pórtico central con cuatro columnas exentas de orden toscano, estaba orientada hacia el Sur. En el interior del primer cuerpo fueron instaladas las habitaciones para el portero, el cuerpo de guardia, el alcaide, el barrendero, los almacenes de instrumentos y la cocina. Entre el primero y el segundo cuerpo fue construido un entresuelo para instalar el dormitorio de los observadores. En el segundo cuerpo quedaron establecidos los gabine-

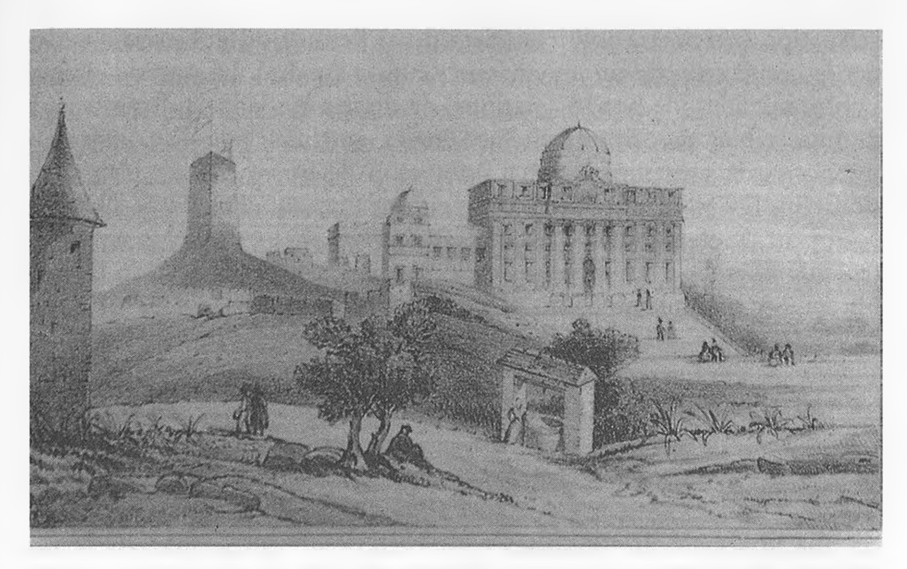


Figura 21. Real Observatorio de la isla de León, según un grabado publicado en el *Nomenclator de las calles de Cádiz*, de Manuel de la Escalera (Cádiz, 1856).

tes para los trabajos de cálculo, las salas de conferencias y la biblioteca. Por último, las salas de observación y los gabinetes previstos para la instalación de instrumentos murales fueron construidos en el tercer cuerpo, donde también fueron acondicionadas dos terrazas. Justo en el centro, sobre el salón principal de observaciones, se elevaba el tambor de la cúpula que coronaba el edificio.

Delante del edificio principal, formando ángulo recto con él por el lado occidental, fue construida una casa para albergar a los astrónomos destinados en el Observatorio. Esta edificación, que recibió el nombre de casa de astrónomos en clara alusión a su finalidad, tenía planta cuadrangular, con dos patios interiores alrededor de los cuales estaban distribuidos los dormitorios y las habitaciones de estudio.

En estos nuevos locales se continuarían con éxito, durante el siglo XIX, los trabajos iniciados en Cádiz. No obstante, en la última década del XVIII, todavía hubo tiempo para que en Cádiz se pusieran los cimientos de uno de los trabajos que han marcado la existencia de esta institución hasta nuestros días. A finales del siglo XVIII, razones de di-

verso tipo (prácticas, políticas, científicas) llevaron al gobierno a ordenar la confección de un almanaque náutico español. La necesidad acuciante, manifestada por los marinos, de dejar a un lado la dependencia de unas tablas de origen francés o inglés, su difícil adquisición y motivaciones de prestigio nacional influyeron decisivamente en esta decisión. En 1792 fue publicado por primera vez un *Almanaque Náutico*, colección de efemérides astronómicas precisas para uso de los navegantes, que liberaba a los marinos españoles de la dependencia de las publicaciones extranjeras como el *Nautical Almanac* inglés o la *Connaissance des Temps* francesa. Pero de ello trataremos con detenimiento algunas páginas más adelante.

Las observaciones astronómicas hechas en Cádiz

La propuesta de creación de un observatorio en Cádiz para la enseñanza de la astronomía a los futuros oficiales de la Armada estuvo relacionada muy directamente con el encargo de adquisición de una serie de instrumentos astronómicos hecho a Jorge Juan, por aquel entonces de viaje en Londres. Antes de proceder a realizar este encargo, el marino alicantino solicitó una lista de los instrumentos útiles existentes en la Academia de Guardias Marinas, con la intención de comprobar el nivel que debía tener la instrumentación que se necesitaba. Una vez confeccionada la mencionada relación, pudo comprobar la escasez y mala calidad de los instrumentos de Cádiz. En lo que se refiere a disciplinas como la astronomía y la náutica, la situación era bastante penosa: una esfera armilar, un globo celeste, un globo terráqueo, un círculo astronómico de bronce, un astrolabio también de bronce, un cuadrante de latón, una ballestilla de madera con pínula de plata, dos cuadrantes con tres pínulas, tres láminas de latón con rosas náuticas y tres agujas de marear.

Dada la situación, Jorge Juan fue autorizado por sus superiores para comprar en Londres los instrumentos astronómicos que considerase necesarios para dotar al nuevo Observatorio de la mejor manera posible. Aprovechando su estancia en la capital británica, ciudad donde se hallaban los mejores talleres europeos para el diseño y construcción de instrumentos de precisión, procuró encargar para Cádiz los mejores aparatos disponibles en aquel momento. Entre los instrumen-

tos procedentes de este encargo fundacional, que estuvieron en funcionamiento durante todo el resto del siglo XVIII, podríamos destacar los siguientes: un cuarto de círculo mural de seis pies de radio construido por John Bird; un cuarto de círculo móvil de dos pies de radio, también de John Bird; péndulos de John Ellicot; un anteojo acromático de Dollond, de tres pies de distancia focal y tres pulgadas y media de diámetro en el objetivo; un telescopio reflector de Short, de 48 pulgadas de distancia focal; y un telescopio reflector de Nairne, de 40 pulgadas de distancia focal.

Una vez instalados los nuevos instrumentos en la torre del Castillo de la Villa que había sido elegida y acondicionada para tal menester, todo quedó preparado para la puesta en marcha del observatorio gaditano. Sin embargo, tendrían que pasar todavía algunos años para que los trabajos astronómicos de este establecimiento de la Marina alcanzasen alguna notoriedad científica. El nombramiento de Luis Godin como director de la Academia de Guardias Marinas, a la que era anexo el Observatorio, no llenó las expectativas que había levantado. Aunque no puede negarse la importancia de su labor en la instalación y corrección del cuarto de círculo mural de Bird, la realidad fue que el período de su dirección registró un bajo nivel de actividades científicas, sobre todo si se tiene en cuenta el esfuerzo financiero que había supuesto para la Armada la creación del Observatorio y la contratación de un personaje de su prestigio. A su muerte, en 1760, continuó la escasez de trabajos de carácter científico, período que culminaría con el traslado de la Academia de Guardias Marinas desde Cádiz a un nuevo emplazamiento en la isla de León, actualmente San Fernando.

Este traslado contribuyó aún más a aumentar los problemas del recién creado Observatorio, pues a partir de entonces resultaría bastante problemático a los profesores y alumnos de la Academia desplazarse por las noches hasta Cádiz para realizar las observaciones astronómicas. No era éste, precisamente, el mejor momento para acometer una actividad astronómica de carácter sistemático, de ahí que los responsables del establecimiento, especialmente Vicente Tofiño, se conformasen con llevar a cabo observaciones esporádicas de fenómenos astronómicos extraordinarios (como la observación del eclipse anular de Sol de 1764, realizada por el propio Tofiño) y colaboraciones en las empresas astronómicas de la época. Éste sería el caso de la participación en las observaciones de los tránsitos de Venus por el disco solar y de

la colaboración con las expediciones navales francesas que recalaron en Cádiz en sus viajes de prueba de los cronómetros marinos de *Berthoud* y *Le Roy* (expediciones de *Cassini*, 1768-1769, de *Fleurieu*, 1768-1769, y de *Verdun*, *Borda* y *Pingré*, 1771-1772).

La colaboración del Observatorio de Cádiz en la campaña para la observación del paso de Venus de 1769 merece, por su importancia, que le dediquemos algunas palabras. El escaso éxito de las observaciones realizadas en el transcurso del paso de Venus acaecido en 1761, hizo crecer las expectativas depositadas en el estudio del paso de 1769, que por las especiales características de este tipo de fenómenos sería el último observable en el siglo XVIII. En esta ocasión, sería California uno de los lugares privilegiados para la observación. Como en anteriores ocasiones, los franceses solicitaron permiso a la Corona Española para que una expedición científica, dirigida por el abate Chappe d'Auteroche, pudiese establecerse en aquellos territorios españoles. La condición impuesta por España para la concesión de tal permiso fue, como también había ocurrido en ocasiones anteriores, la inclusión en la expedición de dos oficiales de la Armada: Salvador Medina y Vicente Doz. La muerte de Chappe d'Auteroche y Salvador Medina, a causa de una epidemia, dejaría a Pauly, ayudante del astrónomo francés, y a Vicente Doz como responsables de unas observaciones que, tras ser realizadas con éxito, fueron comunicadas en todos los foros científicos europeos. Pero no acabaría aquí la participación española en este asunto. Otras observaciones del fenómeno fueron realizadas en California por Joaquín Velázquez de León y en México por José Ignacio Bartolache y José Antonio Alzate, además de las llevadas a cabo en el Observatorio de Cádiz por Vicente Tofiño y Gerardo Henay.

Todos estos contactos con astrónomos y científicos europeos contribuyeron decididamente a la reactivación de las actividades del Observatorio y a la difusión del conocimiento de la existencia de este establecimiento en los ambientes científicos europeos. Fue también por estos años cuando se produjo el viaje de Juan de Lángara y José de Mazarredo a Manila, a bordo de la fragata Venus, en el que ensayaron con éxito la práctica del método de las distancias lunares para la determinación de la longitud en alta mar. A su vuelta a España, en 1773, se organizó en Cádiz un curso de dos meses de duración para explicar a los cadetes de la Academia el nuevo método. También durante ese año se llevó a cabo la rectificación del calado del cuarto de círculo

mural de Bird, con la intención de dejarlo en buenas condiciones de uso, y la observación de la ocultación del anillo de Saturno.

Éste era el ambiente existente en el observatorio gaditano cuando se dio inicio al primer plan sistemático de observaciones emprendido desde su creación. Vicente Tofiño, ayudado por José Varela, procedió al arreglo y ajuste de los instrumentos, especialmente del cuarto de círculo mural, principal instrumento del Observatorio, cuyos errores debían ser determinados con exactitud antes de iniciar cualquier tipo de observación precisa. Tras la determinación de los errores del instrumento mediante un complejo proceso, Tofiño y Varela dieron comienzo a sus observaciones, que se realizaron entre 1773 y 1776. Las observaciones astronómicas llevadas a cabo en Cádiz durante ese período, han sido agrupadas de la siguiente manera por los profesores Lafuente y Sellés, que las han estudiado con detenimiento en su reciente y ya citada obra sobre *El Observatorio de Cádiz* (1753-1831):

1. Determinación del mediodía por alturas correspondientes del Sol.
2. Tránsito del Sol por el mural.
3. Tránsito de la Luna por el mural.
4. Tránsito de planetas por el mural.
5. Posiciones de estrellas (ascensión recta y declinación).
6. Eclipses de los satélites de Júpiter.
7. Ocultaciones de estrellas por la Luna.
8. Observaciones diferenciales de posición de planetas.
9. Otras (anillos de Saturno, eclipses de planetas, eclipses de Luna, diámetros de Luna llena, mareas y observaciones meteorológicas).

Las observaciones para la determinación del mediodía por alturas correspondientes y las del tránsito del Sol por el meridiano fueron esenciales, tanto para la determinación de los errores del cuarto de círculo mural, de la que ya hemos hablado, como para la determinación y conservación de la hora, asunto de absoluta importancia en un observatorio astronómico, donde ésta tenía que ser una de las tareas cotidianas. Las siguientes observaciones constatadas por Lafuente y Sellés, tránsitos de la Luna, de planetas y de estrellas por el mural, buscaban la determinación precisa del instante del paso del astro por el meridiano de observación y de la distancia cenital, para poder obtener de esta forma las coordenadas celestes utilizadas por los astrónomos para situar a los astros en la esfera celeste: la ascensión recta y la decli-

nación. Además de todas las observaciones citadas hasta ahora, realizadas con el cuarto de círculo mural de John Bird, Vicente Tofiño y José Varela llevaron a cabo algunas otras, utilizando para ellas el anteojo acromático. Entre este tipo de observaciones podrían ser citadas, como más representativas, las de los eclipses de los satélites de Júpiter, utilizadas para la determinación de la longitud según el método propuesto por Galileo durante el siglo XVII, a raíz de las investigaciones promovidas para encontrar una solución al problema de la determinación de la longitud en alta mar.

La introducción de la cronometría de longitudes

Aunque, como hemos visto anteriormente, la fiabilidad de los cronómetros marinos desarrollados por Harrison y otros técnicos había quedado suficientemente demostrada, tendrían que pasar todavía algunos años para que el uso de estos aparatos en los buques se generalizase de una forma importante. Hay que tener en cuenta que los primeros relojes, construidos para acceder a los premios otorgados por los distintos gobiernos, eran máquinas prototipo de las que no existían más que algunos ejemplares. No obstante, la gran demanda de este tipo de relojes y las condiciones óptimas de Inglaterra para el desarrollo industrial provocaron un rápido crecimiento de la producción de cronómetros, con lo que se consiguió un cierto abaratamiento del coste de las citadas máquinas.

Después de participar en la expedición a Quito para la medición del meridiano, Jorge Juan sería enviado a Londres donde, además de proceder a la adquisición de instrumentos para el proyectado Observatorio de la Academia de Guardias Marinas, efectuó misiones de espionaje científico. La más importante de ellas fue seguramente el acercamiento a Harrison con la intención de obtener alguna información sobre el proceso de construcción de sus relojes, que el técnico inglés ocultaba con el mayor secreto. Unos años más tarde, en un informe sobre dos libros en los que Harrison describía las pruebas a las que había sometido a sus máquinas, Jorge Juan sería pionero en la propuesta de un plan para introducir en España el arte de la relojería. Para el marino alicantino la solución del problema no radicaba solamente en conseguir la adquisición de alguno de estos cronómetros. Estaba

claro que sería necesario formar un personal especializado que tuviese aptitud para limpiarlos y arreglarlos si fuese necesario, de ahí su propuesta de que fuesen enviados a Londres dos o tres relojeros españoles para que aprendiesen el oficio con el propio Harrison. Mientras tanto, el personal del recién creado Observatorio de Cádiz pudo acceder a información de primera mano de los cronómetros franceses, pues fueron varios, como ya vimos, los viajes de prueba de estos aparatos que partieron de Cádiz o hicieron escala en esta ciudad.

Entre 1774 y 1776 fueron comprados al artista francés Ferdinand Berthoud ocho cronómetros (los núms. 7, 9, 10, 12, 13, 14, 15 y 16). Sin embargo, estos relojes habrían de permanecer almacenados en Cádiz durante seis meses hasta que dieran inicio las pruebas sobre su funcionamiento. A pesar del interés oficial mostrado por mantener a la Marina al día de todas las novedades aplicables a las técnicas de navegación, es evidente que se hacía necesaria una infraestructura que permitiese el mantenimiento en España de esta maquinaria de precisión. Esta falta de previsión dio lugar a que en 1788 tuviesen que ser enviados a París para su limpieza y reparación cuatro de los cronómetros adquiridos a Berthoud. A partir de entonces, y en varias ocasiones, sería el propio Berthoud quien propusiese al Gobierno español su oferta de formar en París un pensionado que, una vez finalizado su aprendizaje, quedaría preparado para poder efectuar directamente las reparaciones y limpiezas, además de defender en España las técnicas de la relojería de precisión.

Finalmente, gracias al consejo de José de Mazarredo, fue aceptada la propuesta de Berthoud. La persona elegida para desplazarse a París y aprender los secretos de la relojería fue Cayetano Sánchez, alumno de la Escuela de Relojería establecida en la calle Barquillo de Madrid. Sánchez se comprometió a aprender de Berthoud la construcción, limpieza, composición y reglaje de los cronómetros marinos. Cayetano Sánchez volvería a España en 1792, después de haber permanecido un año en el taller de Berthoud y otro en el del relojero inglés Emery, con una muy buena formación técnica en los procedimientos relacionados con la construcción de mecanismos de precisión para los relojes de longitud. Además, según había sido estipulado en el contrato con Berthoud, Sánchez trajo a España todo el utillaje de precisión necesario para poder montar un taller de relojería capaz de construir y arreglar cronómetros marinos.

Una vez realizado este período de aprendizaje en el extranjero, la Marina no desaprovecharía la ocasión de montar un taller de relojería en la Isla de León. Fue entonces cuando se propuso a Cayetano Sánchez la firma de un contrato según el cual debía establecerse en la Isla de León para encargarse del mantenimiento de los relojes y péndulos del Observatorio y de los cronómetros marinos particulares de los oficiales de la Armada, y construir, si ello era considerado necesario, relojes de longitud para la Marina. Por otro lado, con la intención de evitar problemas en los períodos de inactividad y fomentar la extensión del arte de la relojería, se le autorizaba a instalar en dicha ciudad un taller particular. El taller de Sánchez, en el que también comenzó a trabajar como ayudante Eugenio Cruzado, se convirtió rápidamente en una dependencia imprescindible para la Marina y su Observatorio. Pronto surgió la necesidad de ampliar las competencias técnicas del obrador de relojería, pensionando al relojero madrileño Antonio Molina para que aprendiese en Londres las técnicas relacionadas con el trabajo de las piedras duras utilizadas por los ingleses en los principales puntos de rozamiento de los mecanismos. No obstante, tras su inesperada muerte en 1798 tuvo que ser sustituido por un nuevo candidato, Carlos la Rue. De esta forma, se esperaba poder formar en el obrador de la Isla de León a una treintena de artistas durante un período aproximado de diez años, lo que hubiera situado a nuestro país en una inmejorable situación en el arte de la relojería de precisión a principios del siglo XIX. Sin embargo, esto no llegaría a ocurrir. La epidemia de fiebre amarilla que asoló Cádiz en 1800 acabó con la vida de todos los integrantes del taller de relojería establecido en la Isla de León (Cayetano Sánchez, Eugenio Cruzado y Carlos la Rue). Las expectativas de desarrollo de la cronometría de longitudes quedaron truncadas. Los péndulos y cronómetros depositados en el Observatorio se encontraron de nuevo sin un personal que supiera componerlos y limpiarlos. Con la llegada del siglo XIX habría que empezar de nuevo desde el principio algo en lo que ya se habían invertido más de diez años.

Los estudios «mayores» o «sublimes»

El plan de estudios establecido para la Academia de Guardias Marinas tras la aprobación de las Ordenanzas de 1748 recogía la posibili-

dad de que aquellos alumnos que demostrasen su capacidad en los primeros cursos, pudieran aplicarse, según decían las mismas Ordenanzas, al estudio de las ciencias matemáticas más abstractas y difíciles, como el álgebra y la geometría superior, siguiendo las inclinaciones naturales de cada uno de ellos. Es en este punto donde podemos encontrar, seguramente, el germen de aquello que, solamente unos años más tarde, sería conocido con el nombre de estudios mayores de los oficiales de la Marina.

Durante el reinado de Fernando VI, el gobierno del marqués de la Ensenada continuó la política ilustrada iniciada años atrás. Siguieron los intentos de recuperar la antigua posición preponderante de nuestro país en la política internacional, a la vez que se realizaron las necesarias reformas interiores para fortalecer el funcionamiento del Estado y la recuperación económica. Dentro de este último aspecto, se intentó mejorar la capacidad científica y técnica mediante una política basada en la actuación en dos vertientes: la introducción en España de los avances producidos en el resto de Europa y la creación de diversas instituciones de carácter científico que pudiesen garantizar la formación de un personal técnico-científico con suficientes visos de efectividad. En este contexto podemos incluir la acción de Jorge Juan al frente de la modernización científica de la Marina, modernización iniciada con su participación, junto a Antonio de Ulloa, en la expedición al virreinato del Perú, y continuada, después, con su labor como capitán de la Compañía de Guardias Marinas e impulsor de la creación de su observatorio astronómico.

Los primeros intentos por articular de forma definitiva los estudios de ampliación, que debían realizar aquellos oficiales que hubiesen demostrado su aptitud en la Academia de Guardias Marinas, mediante la continuación de sus estudios y la práctica de la astronomía en el Real Observatorio de Cádiz, se produjeron cuando, en 1773, Vicente Tofiño y Francisco Javier Winthuysen propusieron escoger anualmente un pequeño grupo de cadetes para potenciar su formación. Diez años después, en 1783, el capitán-comandante de la Compañía de Guardias Marinas, Miguel Gastón, repitió la iniciativa, proponiendo que algunos oficiales quedasen agregados, a tal efecto, en la Compañía bajo su mando. A partir de entonces, durante los años 1783 y 1784, se fue definiendo una nueva actitud ante los llamados estudios mayores, en la que los observatorios de las Academias, especialmente el de Cádiz, debían de-

sempeñar un papel muy importante. Así las cosas, una Real Orden de 29 de mayo de 1783 aceptó una propuesta mediante la cual los oficiales José de Espinosa, Alejandro Beluzonti, Julián Ortiz Canelas y José de Vargas Ponce quedaban destinados en el Observatorio bajo la responsabilidad de Vicente Tofiño, director de la Academia de Guardias Marinas desde 1768. Inmediatamente, se encomendó a éste la redacción de un método de estudios y tareas para los trabajos en el establecimiento de los citados oficiales, que serían ayudados por otros tres que, perteneciendo a la Compañía, se habían ofrecido voluntariamente: Joaquín Fidalgo, Francisco Muñoz y Joaquín Francisco Fidalgo. No obstante, tres años más tarde, el curso de estudios mayores no se había establecido todavía, por lo que Francisco Javier Winthuysen, comandante interino de la Compañía, instó a Tofiño para que los cuatro oficiales que continuaban agregados para realizarlos (José de Espinosa, Julián Ortiz Canelas, José María Lanz y Juan Bernacci) se ejercitasen en la teoría y práctica de la astronomía, y manejo de sus instrumentos, formando un diario del mismo Observatorio con la marcha del péndulo, por alturas correspondientes, y pasajes de los astros por el meridiano [19].

Por otro lado, Cipriano Vimercati, director de la Academia de Guardias Marinas de Ferrol desde su fundación en 1776, consiguió que le fuese aprobado, en febrero de 1788 un «plan de operaciones» para establecer un curso de astronomía en el Observatorio de dicha ciudad. Este plan, que recogía y estructuraba las tareas a llevar a cabo en dicho Observatorio, comenzaba así:

> Primeramente se dividirán los oficiales que están agregados a esta Compañía de Guardias Marinas y concluyeron los estudios teóricos de Cálculo y Astronomía, de suerte que distribuidos por semanas... Y en las semanas que vacasen de la obligación de observatorio atenderán a instruirse en otros objetos según la inclinación particular de cada uno, o a proseguir en hacer un estudio más extenso y profundo de la Astronomía y Navegación...

Sin embargo, este proyecto no pudo ser desarrollado, pues, dada la escasa dotación instrumental del Observatorio de Ferrol, una Real

[19] Véase F. J. González, «La faceta docente del Real Observatorio de la Armada: Los estudios superiores (siglos XVIII y XIX)», *Gades*, 18 (1988), pp. 65-85.

Orden de 19 de noviembre de ese mismo año expresó la necesidad de que los oficiales allí destinados se trasladaran a Cádiz para poder realizar las prácticas astronómicas.

Fue a partir de entonces cuando se dejó notar la acción de José de Mazarredo, importante personaje ligado al desarrollo de la Marina española en el último tercio del siglo XVIII. Sólo un mes más tarde, el 19 de diciembre de 1788, firmó en Madrid, donde se encontraba dedicado a la redacción de unas nuevas Ordenanzas para la Armada, una Instrucción provisional del método de servicio y tareas de los oficiales destinados al Real Observatorio de Cádiz, en la que se establecían de forma clara y precisa las funciones del personal adscrito a dicho establecimiento. En la larga introducción que precede a sus 26 artículos, Mazarredo expresó su convencimiento de que era absolutamente imprescindible el que algunos oficiales se dedicasen plenamente a la astronomía por un período continuado de tres a cuatro años, tras los cuales podrían escoger entre quedarse fijos en el Observatorio o solicitar otro destino. Ésa era, para él, la única forma de conseguir que la Marina conservase la primacía nacional en lo referente a la astronomía y los observatorios, en un momento que se veía bastante clara la posibilidad de que el Gobierno favoreciese la instalación de otros observatorios.

Las acciones de Mazarredo en favor del establecimiento de un curso de estudios mayores en el Real Observatorio de Cádiz siguieron, pues, adelante y así podemos ver cómo en un escrito dirigido a Valdés, Secretario de Estado y del Despacho Universal de Marina, en 1789, le hablaba de la

> necesidad de que se dé al Real Observatorio de Cádiz un pie de institución sólida, bajo el cual se arraigue entre nosotros la profesión de la astronomía como en otros Reinos sabios, y con la particularidad de que si se logra, haya nuestra Marina esta ventaja sobre todas las demás [20].

A los pocos meses, Mazarredo envió a Tofiño unas instrucciones sobre algunos asuntos relacionados con los oficiales que debían traba-

[20] Escrito de José de Mazarredo a Antonio Valdés fechado el 30 de abril de 1789, Biblioteca del Real Observatorio de la Armada, Personal, Caja n.° 1.

jar en el Observatorio. Según éstas, a partir de entonces se eligirían tres o cuatro oficiales para realizar los estudios teóricos y las operaciones prácticas de la astronomía por un período de cuatro años, a lo largo de los cuales no podrían hacer solicitud de embarco o de campaña. Una vez transcurrido este tiempo, cada uno de ellos quedaría en libertad para «declarar su renuncia a la carrera de Mar, y abrazarse con la profesión de astrónomo». Aquellos oficiales que, de esta forma, quedasen en el Observatorio de forma continua serían los encargados de dirigir las tareas de los destinados en él temporalmente.

Producto de este interés por el asunto de la ampliación de estudios por parte de los oficiales fue el nombramiento de cuatro de ellos para permanecer en el Observatorio, José Connock, Miguel de Cuetos, Rodrigo Armesto y Félix Munive. Con ellos, los oficiales destinados en Cádiz al estudio de la astronomía en 1789 eran doce, de los cuales ocho quedaban como asociados por tiempo indefinido: José Espinosa Tello, Cosme Churruca, José Morales, Ramón Blanco, Julián Ortiz Canelas, Sebastián Páez, Máximo de la Riva y José Ortiz Canelas.

Poco después, Tofiño envió a Mazarredo un escrito en el que proponía lo que creía

> más conveniente para el estudio de la Astronomía Teórica, y práctica, que el rey quiere que se establezca en su observatorio de Cádiz, para lograr los dos fines de que es capaz, que son: la utilidad y adelantamiento que puede conseguir dicha ciencia con buenas observaciones, y la instrucción de varios sujetos en la teórica, que con el tiempo sean capaces de calcular tablas y dar al público los medios que en el día producen los antiguos establecimientos de París y Londres.

En este escrito, Tofiño se mostraba partidario de que las observaciones astronómicas fuesen hechas de forma constante y utilizando métodos e instrumentos similares a los mejores observatorios, de forma que sus resultados pudiesen ser publicados para dar a conocer la utilidad del centro. Respecto a los estudios teóricos de astronomía, Tofiño se proponía analizar el estado de los conocimientos de los oficiales designados, para poder prescribir a cada uno las materias en las que debían insistir. Se mostraba contrario a la adopción de un método de estudios rígido, por lo que pretendía que, utilizando los cursos de Lalande y La Caille, cada uno avanzase en el estudio según sus posibili-

dades, aunque dirigiéndose siempre al conocimiento de los cálculos astronómicos [21].

En 1791, Miguel de los Cuetos propuso a Mazarredo, con vistas al inicio de un nuevo curso, la colaboración de los oficiales destinados a los estudios con los del observatorio en la práctica y anotación de las observaciones, de forma tal que cuando comenzase el estudio de la astronomía teórica tuviesen un conocimiento práctico previo. En 1792 llegaron al Observatorio once oficiales que, finalizado el curso de estudios mayores en las Academias de Guardias Marinas, fueron allí destinados como agregados. Estos oficiales eran el capitán de fragata Marcelo Spínola, los tenientes de navío Miguel Gastón y Julián Ortiz Canelas, los tenientes de fragata Manuel Miranda y Pedro de la Cuesta, los alféreces de navío Juan Gutiérrez de Rubalcava, José Ortiz Canelas, Pedro Mortí, Joaquín de Salas y Marco Guruceta, y el alférez de fragata José de la Cuesta.

El siglo XVIII terminó con un importante cambio en la actitud del Gobierno y del Ministro de Marina en lo referente al carácter docente del Observatorio. Tras el traslado del establecimiento al nuevo edificio construido en la Isla de León (1798), la estructura funcional del centro sufrió algunas modificaciones. En 1804 se produjo el nombramiento de Julián Ortiz Canelas como director, cargo independiente por vez primera de la dirección de la Academia de Guardias Marinas. No obstante, al poco tiempo, volvió a hacerse evidente la necesidad de restablecer los estudios mayores con la intención de que en lo sucesivo se pudiesen escoger

> todos los individuos para el Cuerpo de Ingenieros de Marina, servicio en los observatorios astronómicos de los tres departamentos y varias otras comisiones científicas [22].

Por ello, Gabriel Ciscar recibiría el encargo de elaborar un plan de estudios que recogiese las materias a impartir, los textos más interesantes para la enseñanza, el tiempo de duración de los cursos y el

[21] Escrito de Vicente Tofiño a José de Mazarredo fechado el 14 de agosto de 1789, Biblioteca del Real Observatorio de la Armada, Personal, Caja n.° 1.

[22] Escrito de José de Espinosa a Gabriel Ciscar fechado el 11 de agosto de 1807, Museo Naval de Madrid, ms. 1208, doc. 3.

carácter de los profesores. Este plan, llamado «Ideas sobre la enseñanza de los Cursos de Estudios Mayores», fue redactado por Ciscar y presentado al Almirantazgo a fines de 1807 [23]. El documento estaba compuesto por 31 artículos en los que se desarrollaba, a modo de reglamento interno, todo lo relacionado con los requisitos de ingreso, el número de alumnos y profesores, el lugar, los días y las horas de clase, las materias y los libros, y la duración de los estudios. El curso propuesto por Ciscar constaba de dos grandes partes. Durante los tres primeros años serían impartidos los conocimientos generales. Por el contrario, en los dos últimos años, los alumnos podrían optar por las enseñanzas sobre construcción y obras hidráulicas o por las de astronomía. Esta segunda fase tendría un carácter eminentemente práctico, especialmente el quinto y último año de estudios. Las enseñanzas especializadas de astronomía deberían desarrollarse en el Observatorio y en ellas los alumnos realizarían prácticas de astronomía náutica, de manejo de instrumentos y de observaciones de longitud por el método de las distancias lunares.

La organización de las actividades hidrográficas

Durante la segunda mitad del siglo XVIII se extendió por Europa el interés por la cartografía, dada la necesidad de los mapas para la defensa y el gobierno de las naciones. El desarrollo de las ciencias geográficas vino acompañado en casi todos los países por la creación de centros cartográficos, el establecimiento de redes geodésicas y la elaboración de mapas nacionales [24]. Mientras los gobiernos comenzaron a adivinar la utilidad de unos mapas precisos en lo que se refiere al conocimiento de los territorios, tanto desde el punto de vista económico como de la defensa, los ciudadanos, recelosos ante cualquier trabajo de medición de tierras, empezaron a valorar la prosperidad implícita en el buen conocimiento del territorio, tanto en lo que se refiere a la explo-

[23] Escrito de Gabriel Ciscar, al Príncipe Generalísimo Almirante, fechado el 5 de diciembre de 1807, Museo Naval de Madrid, ms. 1208, doc. 3.

[24] Véase R. Núñez de las Cuevas, «Cartografía española en el siglo XIX», en *Historia de la cartografía española,* Madrid, 1982.

tación de los recursos como en la posibilidad de desarrollar una buena política oficial de obras públicas.

En Francia se iniciaron los trabajos del primer mapa nacional en 1733, bajo la dirección de Jacques Cassini. El resultado, llamado carta de Cassini, no fue terminado hasta 1789, fecha en la que fue entregado por su nieto Jacques-Dominique Cassini. Unos años más tarde, Napoleón impulsaría aún más la cartografía francesa teniendo en cuenta las necesidades militares. En 1824 dieron comienzo los trabajos para confeccionar el Mapa de Estado Mayor, finalizado en 1880.

La unión geodésica entre los observatorios de Greenwich y París, comunicado a la Royal Society en 1790, fue el primer paso para el levantamiento cartográfico de Gran Bretaña. En 1791, tras la creación del Ordinance Survey, se organizaron los trabajos de un mapa que sería concluido en 1840. Las continuas expediciones británicas y la importancia del imperio colonial dieron lugar a la realización de interesantes trabajos cartográficos en diversas partes del mundo por cartógrafos ingleses.

Después de las expediciones organizadas por Francia para medir el grado de meridiano y determinar la verdadera figura de la Tierra, se produjo un considerable aumento del interés de los gobiernos ilustrados por la geodesia y sus aplicaciones prácticas. Jorge Juan, marino y científico español que tuvo ocasión de participar en la expedición al Ecuador, consciente de la necesidad de la realización de un trabajo cartográfico global del territorio español, propuso al marqués de la Ensenada el primer proyecto de un mapa de España. Sin embargo, la caída en desgracia del político provocó el olvido de los planes del científico alicantino. Unos años más tarde, durante la última parte del XVIII, sólo podemos encontrar en España dos personajes dedicados a trabajos cartográficos de envergadura, Tomás López y Vicente Tofiño. El primero de ellos fue un perfecto grabador, pero no un geodesta. Sin moverse de Madrid realizó una gran cantidad de mapas de todas las regiones españolas [25]. El otro gran cartógrafo del XVIII fue Tofiño que, siguiendo métodos geodésicos y astronómicos, se encargó del levantamiento de todas las costas españolas (Atlas Marítimo de España, 1789).

[25] Véase F. Vázquez Maure, «Cartografía de la Península: siglos XVI al XVIII», en *Historia de la cartografía española,* Madrid, 1982.

Aunque el hundimiento general del movimiento ilustrado paralizó la mayoría de las actividades científicas en nuestro país, todavía quedaría un ambiente favorable a los trabajos geográficos a principios del siglo XIX. Personajes como Felipe Bauzá, al frente de la Dirección de Hidrografía, de la que hablaremos más adelante, destacan por su interés en el impulso de una carta general de España que completase el levantamiento de las costas realizado por Tofiño en el siglo anterior. Sin embargo, la Guerra de la Independencia acabó con todas las posibilidades de desarrollar un programa cartográfico parecido a los que se llevarían a cabo en otros países europeos. La falta de una carta general de España dio lugar a que las tropas francesas tuviesen que desarrollar sus propios mapas, después de comprobar los grandes errores contenidos en el mapa de Tomás López. Entre 1808 y 1814, tanto los franceses como los ingleses tuvieron que desarrollar importantes trabajos cartográficos y topográficos, ante la inexistencia de unos mapas fiables de los territorios en los que se llevaban a cabo las campañas de la guerra.

En lo que se refiere a la construcción de planos, cartas y derroteros para la navegación, los españoles, como en tantos otros aspectos relacionados con el mar, fueron pioneros. Aunque ya en el siglo XIV, la Marina aragonesa utilizaba cartas náuticas para efectuar sus navegaciones, será a partir del descubrimiento de América y de la necesidad de conocer con exactitud el contorno costero de los nuevos territorios de la Corona cuando se inicie un importante desarrollo de la hidrografía. Como ya hemos dicho, el siglo XVI contemplaría la creación del empleo de piloto mayor y de varias plazas de cosmógrafos en la Casa de Contratación de Sevilla, que ejercieron su labor tanto en la elaboración de cartas e instrumentos náuticos como en la enseñanza del arte de navegar y el examen de nuevos pilotos. Sin embargo, siguiendo el rumbo general de los acontecimientos históricos, tras esta época inicial tuvo lugar un período poco brillante en el que los avances en los trabajos hidrográficos fueron escasos.

Con el impulso de los gobiernos ilustrados del siglo XVIII dio comienzo una época de recuperación para la Marina, caracterizada por el fomento del desarrollo de la navegación y de la hidrografía. Reflejo de esta nueva política, iniciada con la creación de la Academia de Guardias Marinas, serían los numerosos trabajos hidrográficos emprendidos por oficiales de la Armada, tanto en las costas de la Península como en América y otras posesiones de la Corona. Mención especial merece

el trabajo hidrográfico por excelencia del siglo XVIII, el atlas marítimo de las costas españolas levantado por Vicente Tofiño entre 1783 y 1789.

Por encargo del Gobierno, Vicente Tofiño, director de las Academias de Guardias Marinas, se dispuso a emprender, con la ayuda del personal del Real Observatorio de Cádiz, el mayor trabajo de este tipo realizado en España hasta entonces. La expedición hidrográfica de Tofiño contó con dos barcos (una fragata y un bergantín) y con instrumentos cedidos por el Observatorio o adquiridos al efecto. Utilizando un método basado en la combinación de las operaciones marítimas con las terrestres (trazado de triángulos continuados a partir de una base medida con exactitud, determinación de la longitud de todos los puntos principales de la costa, utilización de sondas, dibujo de las vistas de la costa), Vicente Tofiño y sus colaboradores llevaron a cabo una impresionante labor hidrográfica, plasmada en la redacción de dos derroteros, uno de la costa atlántica y otro de la mediterránea, y confección de la cartografía correspondiente publicada como atlas marítimo. No obstante, el esfuerzo hidrográfico español del XVIII no terminó en los trabajos anteriormente citados. Las Secretarías de Indias y de Marina no dudaron en impulsar el reconocimiento y estudio de aquellas rutas marítimas consideradas de importancia para la navegación de los buques españoles. De ahí la constante sucesión de expediciones como las de Antonio de Córdoba (1785) y Cosme de Churruca (1788) al estrecho de Magallanes, de Alejandro Malaspina alrededor del Mundo (1789-1794), de Cosme de Churruca a Trinidad y las Antillas (1792) o de Joaquín Francisco Fidalgo a las costas de Colombia y Venezuela (1796).

Tofiño inicia el primero de sus derroteros, el *Derrotero de las costas de España en el Mediterráneo* (Madrid, 1787), con un breve repaso por la historia de la geografía y de la elaboración de mapas, comenzando en el Egipto de Sesostris y haciendo un especial hincapié en la figura de Ptolomeo. De esta introducción son las siguientes palabras de Tofiño sobre la posición del hombre ante el mar:

> el hombre es una máquina débil, con sus bienes, con su vida, que es el mayor de todos, está como compuesto sobre un abismo: sólo ve un horizonte no interrumpido, una mar uniforme; y habiéndose él mismo condenado al destierro, no sabe donde se halla. El conoci-

> miento del lugar que ocupa entonces, esto es, su Latitud y Longitud, que puede ignorar sin consecuencia en sus hogares, y aún en los campos desiertos, lo es aquí de una absoluta necesidad.

En los buques utilizados por la comisión hidrográfica dirigida por Vicente Tofiño fueron embarcados unos relojes de Berthoud del Observatorio de Cádiz, varios sextantes (de Nairne y de Ramsden), agujas para las observaciones diarias de cada oficial y una colección de instrumentos adquirida en Londres y compuesta por los siguientes aparatos: un cuarto de círculo, un péndulo, dos anteojos acromáticos, un teodolito, una cadena, agujas, un círculo de reflexión, un barómetro marino y, por último, estuches con todo lo necesario para trazar planos.

Los trabajos diarios comenzaban con la determinación de la longitud por medio de los relojes. Después se calculaba la latitud y la posición de los accidentes más destacados del terreno (cabos, montes). Mientras tanto, se practicaban sondas, se vigilaban las variaciones de la aguja y se sacaban las vistas de las costas. La exactitud de la marcha de los relojes embarcados era de vital importancia para las determinaciones de posición, de ahí el interés de Tofiño por mantener un estricto control de su funcionamiento. Así describía las operaciones relacionadas con este asunto en la Introducción del Derrotero anteriormente citado:

> Llevados los elegidos a bordo (los relojes) y dada su cuerda, se situaba la Fragata en su lugar, de donde pudiese ser vista desde el observatorio establecido en tierra. En éste por alturas correspondientes tomadas varios días, se tenía conocida con precisión la marcha de Péndulo Astronómico, y se sabía lo que adelantaba o atrasaba al tiempo medio, lo que se practicaba de este modo. Determinado fuese el mediodía, se hacían las comparaciones entre quatro Oficiales: dos gallardetes hizados en la Fragata y el observatorio poco antes de las doce avisadas recíprocamente la atención, y a esta señal cada uno tomaba su puesto, los de abordo uno a contar en voz alta los segundos en el n.º 10, y el otro con quatro pistolas muy bien preparadas a ocupar un lugar en que pudiese ser visto desde el observatorio, y cada vez que el que contaba los segundos completaba el minuto, procuraba cubrir la voz cero con un pistoletazo, apuntando el que contaba la hora y el minuto. Los dos que estaban en tierra desde que se hizaban los gallardetes, se disponían el uno a mirar incesantemente con

> un anteojo al que disparaba, y el otro acudía al péndulo para escribir la hora, minuto y segundo preciso que señalaba quando el del anteojo daba el instante del pistoletazo, con que se sabía en uno mismo la hora de abordo y de tierra, y de su comparación el estado del movimiento del (reloj) n.° 10, con la posible exactitud.

Desde 1770 había funcionado en nuestro país una dependencia de la Marina, el Depósito Hidrográfico, encargada de grabar y publicar las cartas marinas, de redactar los derroteros y de coordinar las comisiones hidrográficas organizadas por la Armada. A fines del XVIII, la necesidad de conservar, reproducir y publicar los importantes trabajos desarrollados por la generación de marinos científicos encabezada por Tofiño, que realizaron numerosos y precisos levantamientos hidrográficos de las costas españolas y americanas, trajo consigo la creación, en 1797, de la Dirección de Trabajos Hidrográficos, entre cuyos objetivos estaban, además de los que antes habían ocupado al Depósito, la formación de personal especializado en el grabado de cartas, la centralización de todo lo relacionado con la hidrografía y el fomento del estudio de las técnicas hidrográficas entre el personal de la Armada. La dirección de esta nueva dependencia fue desempeñada, a partir de entonces, por importantes personajes en la historia de la Marina española: José de Espinosa y Tello (1797-1802), Juan Gutiérrez de la Concha (1802-1803), Joaquín Francisco Fidalgo (1810) o Felipe Bauzá (1810-1822).

A principios del siglo XIX, el fructífero período vivido por la hidrografía española sufrió los bruscos cambios que afectaron a la Marina, para la que Trafalgar no hizo más que confirmar la existencia de una profunda crisis iniciada algunos años atrás. A la precaria situación de la Armada habría que añadir, sin duda, los efectos desastrosos derivados de la guerra contra los franceses. La Dirección de Hidrografía, dependiente del Gobierno y ubicada en la capital del Reino, hubo de sufrir numerosas vicisitudes, tanto en la guerra como en los años de confusión política que la siguieron. Sus trabajos fueron paralizados en diversas ocasiones y gran parte de su personal tuvo que optar por el exilio. Todo ello afectó directamente al trabajo científico organizado por la institución y a la continuidad de sus publicaciones.

Felipe Bauzá, que logró sacar de Madrid la mayoría de los fondos de la institución en plena ocupación napoleónica, estuvo al frente de la Dirección de Hidrografía durante un período de estancamiento, e

DERROTERO
DE LAS COSTAS DE ESPAÑA
EN EL MEDITERRANEO,

Y SU CORRESPONDIENTE DE AFRICA

PARA INTELIGENCIA Y USO

DE LAS CARTAS ESFÉRICAS

PRESENTADAS AL REY NUESTRO SEÑOR

POR EL EXC.MO SR. BAYLIO

FR. DON ANTONIO VALDÉS

Gefe de Esquadra y Secretario de Estado, y del Despacho Universal de Marina.

Y CONSTRUIDAS DE ORDEN DE S. M.

POR EL BRIGADIER DE LA REAL ARMADA

DON VICENTE TOFIÑO DE SAN MIGUEL,

Director de las Compañías de Guardias Marinas, de la Real Academia de la Historia, correspondiente de la de Ciencias de Paris, Sócio Literato de la Sociedad Bascongada, y de mérito de la de los Amigos del Pais de Palma.



DE ORDEN SUPERIOR.

MADRID. En la Imprenta de la viuda de Ibarra, Hijos y Compañía.

AÑO MDCCLXXXVII.



Figura 22. Portada del *Derrotero de las costas de España en el Mediterráneo*, elaborado por Vicente Tofiño (Madrid, 1787).

incluso de retroceso, de las actividades científicas. Sin embargo, a pesar de la catastrófica situación de la Marina en los primeros años del XIX, su actividad no cesó, siendo muchos los proyectos e iniciativas presentados por él a las autoridades. La figura de Bauzá estará detrás de asuntos tan diversos e interesantes como el proyecto de creación de un Cuerpo de Ingenieros Hidrógrafos (1816), el proyecto para la elaboración de una Carta Geográfica General de España (1820), la publicación del *Derrotero de las Antillas* (1820), o los trabajos para la terminación de los *Atlas de América del Sur y del Norte* (terminados en 1828 y 1830, respectivamente). Desgraciadamente, las circunstancias políticas de la época le obligaron a tomar en 1823 el camino del exilio, después de haber sido diputado a Cortes en el régimen constitucional.

Las expediciones científicas

La falta de institucionalización de la ciencia española en el siglo XVIII motivó la utilización de la Armada por el Estado para llevar a cabo una serie de iniciativas de carácter ilustrado. Las reformas aplicadas a la organización de la Marina a comienzos de la centuria hicieron de ésta, con el paso de los años, uno de los principales focos de la Ilustración española. Durante el reinado de Carlos III, después de haber comprobado con motivo de los conflictos bélicos con otras potencias europeas la debilidad defensiva de las posesiones americanas, se inició una política de rearme de la Marina que terminaría convirtiéndola en uno de los principales instrumentos de la Corona allende los mares. Además de ser utilizada para defender y mantener bien comunicados los distantes dominios españoles, la Marina incorporó los nuevos adelantos científicos de la época y emprendió una serie de importantes programas de actuación relacionados con la mejora de la navegación y con los levantamientos hidrográficos.

La preocupación por mejorar las comunicaciones marítimas entre puntos distantes de las posesiones españolas hizo patente la necesidad de mejorar el conocimiento de la realidad geográfica de muchas tierras que, aunque pertenecientes teóricamente a la Corona española, aún no habían sido colonizadas. Era preciso, pues, corregir la cartografía, establecer con precisión las longitudes y latitudes de los principales puertos y ciudades y mejorar en lo posible la viabilidad de las grandes rutas co-

merciales. Según ha constatado en alguno de sus trabajos Francisco de Solano, durante los reinados de Felipe V, Fernando VI, Carlos III y Carlos IV fueron llevadas a cabo diecinueve grandes expediciones transoceánicas, comprendidas entre la realizada para la medición del arco de meridiano en el Ecuador y los viajes de investigación botánica de Martín Sess (1785-97). Los objetivos de estos viajes solían ser muy variados, pero, de todas formas, podrían ser clasificados en diversos grupos: expediciones con objetivos astronómicos, botánicos, geológicos y náutico-hidrográficos. En todas ellas, los marinos jugaron un papel protagonista, pues se convirtieron en verdaderos exploradores de costas y territorios de los que en Europa se poseían aún escasos conocimientos.

Las expediciones del XVIII[26]

1. Expediciones con fines astronómicos
   - a) Hispano-francesas
     1. Ecuador (1735-42)
     2. Baja California (1768-70)
   - b) De límites
     1. Brasil
        - —José de Iturriaga al Orinoco (1754-60)
        - — Marqués de Valdelirios al Paraguay (1753-56)
        - — Félix de Azara al Paraguay (1781-1800).
     2. Pacífico Norte (1774-90)
   - c) Hidrográficas (1786-1804)
2. Expediciones con fines botánicos
   - a) Perú y Chile (1777-87)
   - b) Nueva Granada (1783-1810)
   - c) Nueva España (1785-97)

[26] Sobre la tipología de las expediciones ilustradas puede consultarse F. de Solano, «Expediciones científicas a América durante el siglo XVIII», en *La Expedición Malaspina 1789-1794,* Madrid, 1984.

3. Expediciones con fines mineralógicos
   a) Chile y alto Perú (1795-1800)
4. Expedición de Malaspina alrededor del mundo (1789-94)

Así pues, durante el reinado de Carlos III se iniciaría un período caracterizado por la abundancia de expediciones en las que se mezclaban objetivos diversos (geoestratégicos, comerciales, científicos). Una gran parte de las expediciones tuvieron como objeto la vigilancia de las costas y la obstaculización del comercio y los asentamientos ilegales. En todas ellas, los marinos formados en las Academias de Guardias Marinas llevaron a cabo interesantes trabajos hidrográficos, aunque no podemos olvidar su participación en las expediciones bélicas, de límites o astronómicas. De todas formas, serían las cuestiones económicas y comerciales las verdaderas razones impulsoras de gran parte de los viajes ilustrados. Tras la progresiva liberalización del comercio ultramarino, culminada en 1778 con la aprobación del Reglamento de Libre Comercio, se multiplicó el número de buques españoles en las aguas americanas y filipinas. Ello trajo como consecuencia una creciente demanda de derroteros más exactos, de la determinación de la situación de las escalas intermedias, del perfeccionamiento de la formación de los navegantes y de la cartografía. Todas estas medidas debían contribuir, sin lugar a dudas, a un aumento de la seguridad de las travesías. No podemos olvidar que durante estos años se produjo la paulatina transición de la navegación tradicional de carácter bastante precario a las mejoras en las técnicas introducidas por los primeros oficiales formados con un cierto carácter científico y a la introducción de la navegación por métodos científicos, divulgada en la Armada española durante la década de 1780-1790. Como apunta en uno de sus trabajos Salvador Bernabeu Albert, los nuevos métodos e instrumentos fueron puestos al servicio del espíritu ilustrado y crítico que pretendía resolver los enigmas geográficos y mejorar las condiciones del tráfico marítimo [27].

El desarrollo de las expediciones hidrográficas y científicas del siglo XVIII supuso la puesta en práctica de los conocimientos introduci-

[27] Véase S. Bernabeu Albert, «Las expediciones hidrográficas», en *Carlos III y la ciencia de la Ilustración,* Madrid, 1988, pp. 353-369.

dos en la enseñanza de oficiales y pilotos a raíz de las reformas introducidas en sus estudios durante los años precedentes. Con el uso de nuevas técnicas cartográficas y de navegación, estos marinos procedieron a la exploración, e incorporación a la Corona, de territorios antes no controlados plenamente. De ahí que pueda afirmarse que, durante el reinado de Carlos III, el dominio español en América alcanzó su máxima extensión. Por otro lado, dejando a un lado las motivaciones económicas o geoestratégicas, el cambio de actitud hacia este tipo de expediciones y la proliferación de viajes de exploración sufragados por otras potencias europeas, que pretendían tomar posesión de determinados lugares clave en las rutas marítimas, provocaron una reacción de carácter nacionalista y de prestigio, contraria a que los extranjeros se atribuyesen el descubrimiento de tierras que ya habían sido pisadas por los españoles mucho tiempo antes.

Debido a ello, el carácter defensivo y secreto de los viajes llevados a cabo durante la primera parte de la centuria fue sustituido, a partir de 1780, por una actitud mucho más favorable a la divulgación de los conocimientos adquiridos, de los lugares visitados y de los resultados científicos obtenidos.

Como ya se ha dicho con anterioridad, gran parte de las expediciones marítimas del dieciocho tuvieron como principal objetivo la exploración de las zonas marginales o fronterizas de los territorios españoles. Estas zonas, al permanecer sin defensas y ser poco conocidas, estaban siendo objeto de los intereses de otras potencias, especialmente Inglaterra. Las acciones emprendidas en este sentido se dirigieron sobre todo a la exploración y defensa de las costas atlánticas y pacíficas de América.

Expediciones a la costa atlántica americana

Un número importante de viajes fue orientado hacia la mejora de las defensas y de los levantamientos cartográficos de las costas comprendidas entre Florida y el estrecho de Magallanes. La organización de estos viajes se explica por la importancia que la fachada atlántica americana tenía para las comunicaciones con la Península Ibérica y por la necesidad de aumentar la vigilancia en zonas conflictivas como el Caribe y las costas del Sur. Entre ellas cabría mencionar las siguientes:

— Campañas de José de Evia entre Florida y Veracruz (1783-1786).
— Levantamientos de puertos en Cuba entre 1773 y 1783.
— Levantamiento de un nuevo plano de Puerto Rico (1785-1786).
— Expediciones para el reconocimiento de la costa meridional del golfo de México enviadas en 1777 por Antonio de Ulloa, comandante de la flota de Nueva España.
— Exploraciones de las costas de Honduras (José Estévez, 1776), Nicaragua (Francisco Javier de Vargas, 1777-1779) y de la costa de los Mosquitos (Pedro de Obregón, 1783).
— Expediciones al Darién de Antonio Arévalo en 1761 y Juan Carranza en 1785.

Dentro de los viajes realizados por las costas atlánticas merecen una mención aparte aquellas dirigidas a la exploración de las fronteras hispano-portuguesas, fijadas a partir del Tratado de Límites de 1750, y al reconocimiento de la Patagonia, las Malvinas y el estrecho de Magallanes. El estrecho de Magallanes había despertado la curiosidad de los ingleses y los franceses, que enviaron algunos buques para proceder a su reconocimiento (Byron, 1764-1766; Wallis y Carteret, 1766-1769; Bougainville, 1767). Dado que los conocimientos sobre la zona extraídos por estos marinos no añadieron gran cosa a los ya existentes, y en un intento por dejar claro el dominio español en esa parte del mundo, la Corona española decidió organizar una expedición orientada hacia la completa exploración y el cartografiado del estrecho que evitaba rodear el cabo de Hornos. La fragata Santa María de la Cabeza partió de Cádiz en 1785, al mando del capitán de navío Antonio de Córdoba, con una importante dotación humana e instrumental. Durante el tiempo que permanecieron en el estrecho, desde diciembre de 1785 hasta marzo de 1786, se realizaron los trabajos relativos al levantamiento cartográfico hasta el puerto de San José. En estos trabajos tomaron parte muy activa los marinos Dionisio Alcalá-Galiano y Alejandro Belmonte, que centraron su atención en las observaciones astronómicas y en el mantenimiento de relojes e instrumentos. La exploración de la zona sería completada unos años después por una nueva expedición, esta vez a bordo de los paquebotes Santa Casilda y Santa Eulalia, que permanecieron en aquellas latitudes entre octubre de 1788 y febrero de 1789. En esta ocasión fueron los oficiales Cosme Churruca y Ciriaco Cevallos los encargados de llevar a cabo las observaciones astronómicas y

geodésicas. De los resultados obtenidos por ambas expediciones se dedujo, según consta en el *Apéndice a la Relación del Viage al Magallanes de la Fragata de Guerra Santa María de la Cabeza, que contiene el de los Paquebotes Santa Casilda y Santa Eulalia para completar el reconocimiento del Estrecho en los años de 1788 y 1789* (Madrid, 1793), la recomendación de abandonar la navegación dificultosa del estrecho de Magallanes y utilizar la ruta alternativa que pasaba por el cabo de Hornos.

Expediciones a las costas del Pacífico

Las navegaciones de buques españoles por las costas americanas del océano Pacífico durante el siglo XVIII estuvieron dirigidas sobre todo al reconocimiento de las costas de los territorios más lejanos y menos conocidos, es decir, la costa del Sur de Chile y del Noroeste del continente americano.

En la costa del Sur de Chile, tras algunos intentos previos, fueron los jesuitas los primeros en organizar viajes que profundizarían en el conocimiento hidrográfico de la zona, aunque pronto serían seguidos por expediciones de carácter oficial. Entre ellas podríamos destacar las siguientes:

- Expediciones del padre José García al Sur de las Guaitecas (1765 y 1766).
- Viaje de Cosme Ugarte y Pedro Masilla a los 53° de latitud Sur (1767-1768).
- Expedición de Francisco Machado a los archipiélagos occidentales (1768-1769).

En lo que se refiere a la exploración de la costa del Noroeste americano, el siglo XVIII, y especialmente el reinado de Carlos III, contemplaron la reactivación de los viajes iniciados en la exploración de Huarte de Mendoza realizada en 1532. Por un lado, José de Gálvez organizaría diversas expediciones que llevarían a la fundación de San Diego (1769) y Monterrey (1770), además de la exploración del puerto de San Francisco por el teniente de navío Juan Manuel de Ayala (1775). Por el Norte, fueron diversas las expediciones enviadas a las costas de Canadá y Alaska con la intención de localizar una serie de establecimientos rusos cuya presencia había sido denunciada por la

embajada española en San Petesburgo. Entre ellos podríamos destacar los siguientes:

- Viaje de Juan Pérez con la fragata Santiago a los 54° de latitud Norte, a Nutka y a San Blas (1774).
- Viaje de Bruno de Heceta y Juan Francisco de la Bodega (1775), en la fragata Santiago y la goleta Sonora respectivamente, llegando a los puertos de Guadalupe y Los Remedios (57° 20' Norte).
- Viaje de Ignacio Arteaga y Juan Francisco de la Bodega, a bordo de las fragatas «Princesa» y «Favorita», para la exploración de la bahía de Bucareli, la isla del Carmen, el puerto de Santiago y la ensenada de Nuestra Señora de Regla (59° Norte) en 1779.
- Viaje de Esteban José Martínez y Gonzalo López de Haro con la intención de superar los 59° Norte en busca de los asentamientos rusos.

Además de la exploración de las costas del Norte y del Sur, también se llevaron a cabo algunas exploraciones por el océano Pacífico, con el objeto de frenar la expansión de franceses e ingleses en una zona que podría afectar directamente a las costas del virreinato del Perú. Entre ellas cabría destacar las realizadas por el capitán de navío González de Haedo para anexionarse las islas de Juan Fernández y de Pascua y por el capitán de fragata Domingo de Bonaechea a la isla de Tahití (1772-1773). Entre las navegaciones por el Pacífico merecen una mención especial aquellas que se hicieron con objeto de buscar nuevas rutas alternativas para la comunicación con las islas Filipinas, puesto, que la toma de Manila por los ingleses en 1762 había puesto, en evidencia la indefensión de las islas y el buen conocimiento que los extranjeros tenían de las rutas utilizadas para llegar a ellas, especialmente de la seguida por el llamado Galeón de Manila. En uno de estos viajes, el llevado a cabo por Juan de Lángara entre 1771 y 1773, José de Mazarredo consiguió determinar la longitud en alta mar, utilizando el método de las distancias lunares, experiencia que le serviría más tarde para proceder a la divulgación de esta técnica entre los marinos españoles.

La expedición de Malaspina (1789-1794)

La expedición alrededor del mundo dirigida por Alejandro Malaspina aparece, a finales del siglo XVIII, como un intento de síntesis de los viajes anteriores. El interés estatal por mejorar el control marítimo en el océano Pacífico y reformar la administración de los virreinatos, hizo que la propuesta presentada en 1788 por Alejandro Malaspina y José Bustamante, para realizar un viaje científico-político alrededor del mundo, fuese aceptada de buen grado por el gobierno. Siguiendo el modelo de los viajes realizados por Cook y La Pérouse, fue organizada una expedición que habría de destacar entre las de su época por su carácter enciclopédico, por la ambición de sus fines y por la organización científica de sus trabajos. El viaje fue preparado entre octubre de 1788 y julio de 1789, fecha en la que partieron de Cádiz dos corbetas de nueva construcción, la «Descubierta» y la «Atrevida», con 102 personas de dotación cada una de ellas.

Dotación científica de la corbeta «Descubierta»

Alejandro Malaspina	Comandante
Cayetano Valdés	Oficial
Manuel Novales	Oficial
Fernando Quintano	Oficial
Francisco J. Viana	Oficial
Juan Vernaci	Oficial
Secundino Salamanca	Oficial
José Espinosa y Tello	Oficial
Fabio Ali-Ponzoni	Guardiamarina
Felipe Bauzá	Director de cartas
José M.ª Sánchez	Pilotín
Joaquín Díaz y Hurtado	Pilotín
Francisco Flores	Cirujano
Antonio Pineda	Director Historia Natural
Tadeo Haenke	Botánico
Juan del Pozo	Pintor
Juan Ravenet	Pintor
José Cardero	Pintor
Tomás Suria	Pintor

Dotación científica de la corbeta «Atrevida»

José Bustamante y Guerra	Comandante
Antonio Tova	Oficial
Dionisio Alcalá-Galiano	Oficial
Juan Gutiérrez de la Concha	Oficial
José Robredo	Oficial
Arcadio Pineda	Oficial
Martín de Olavide	Oficial
Ciriaco Cevallos	Oficial
Jacobo Murphy	Guardiamarina
Juan Díaz Maqueda	Piloto
Jerónimo Delgado	Pilotín
Juan Inciarte	Pilotín
Pedro M.ª González	Cirujano
Luis Née	Botánico
José Guió	Pintor
Fernando Brambila	Pintor

Los objetivos de partida para la expedición abarcaban desde el levantamiento cartográfico de las costas y los puertos visitados, hasta la recolección de diversos datos sobre la situación y costumbres de los indígenas, pasando por las determinaciones de posiciones geográficas y el estudio de la zoología y la botánica de las regiones recorridas.

Se trataba, pues, de una expedición ilustrada en la que se reunían objetivos geoestratégicos, de exploración, científicos y político-administrativos. Siguiendo a M.ª Dolores Higueras, podríamos destacar algunas de las misiones más importantes que fueron asignadas a la expedición [28]:

- Determinar los puertos y fondeaderos más idóneos para la marina militar.
- Estudiar la eficacia y seguridad de las rutas marítimas comerciales y sus posibles alternativas.
- Informar sobre la capacidad defensiva de las costas y puertos pertenecientes a España.

[28] Véase M.ª Dolores Higueras, *Catálogo crítico de los documentos de la Expedición Malaspina*, Madrid, 1985-1989.

— Informar sobre el estado de los establecimientos de otras potencias.
— Cartografiar con precisión las costas americanas del océano Pacífico.
— Estudiar la flora y la fauna de los lugares visitados.
— Estudiar la situación política y económica de los virreinatos.

Para conseguir tan amplios objetivos, se trabajó profundamente en la organización del viaje, tomando una serie de medidas destinadas a asegurar el éxito de la expedición. Tras un período de consultas y recopilación de información sobre los métodos e instrumentos, se procedió a seleccionar al personal especializado necesario para las tareas propuestas. De esta forma, Malaspina pudo contar con los oficiales de la Marina más preparados en astronomía e hidrografía, además de prestigiosos botánicos y pintores y de una dotación de marinería voluntaria, con lo que se pretendía evitar posibles deserciones.

Si los objetivos marcados al planificar el viaje fueron tan amplios, no se puede decir menos de los resultados obtenidos. Las corbetas «Descubierta» y «Atrevida» recorrieron las costas de Montevideo, Río de la Plata, Patagonia, Malvinas, Chile, Perú, Ecuador, Colombia, Panamá, Centroamérica, México, California, costa Noroeste hasta Alaska, Marianas, Filipinas, Macao, Nueva Zelanda y Australia. La documentación procedente de la expedición, que no fue publicada a causa del encarcelamiento de Malaspina, por cuestiones políticas, revela la enorme cantidad de temas abordados por los expedicionarios: trabajos astronómicos, hidrográficos, botánicos y mineralógicos, estudio de la etnología y el lenguaje de los indígenas, descripción de la situación política, administrativa y económica de los lugares visitados (historia, urbanismo, fortificaciones, universidades, impuestos, recursos).

VI

PRINCIPALES OBRAS DE NAVEGACIÓN Y ASTRONOMÍA NÁUTICA

Trataremos de hacer, a continuación, en esta tercera parte dedicada al desarrollo de las ciencias náuticas en el siglo XVIII español un breve comentario sobre las obras más interesantes publicadas durante ese siglo. Siguiendo su análisis podremos ver con facilidad la evolución de la astronomía y la navegación en la España de aquellos años. La primera parte del período estudiado se caracteriza por la edición de un pequeño número de libros de náutica, pertenecientes casi todos a los profesores del Colegio de San Telmo de Sevilla y de la recién creada Academia de Guardias Marinas de Cádiz. A mediados del siglo XVIII, la publicación del *Compendio de navegación* de Jorge Juan marcó el inicio de la introducción en España de los métodos científicos desarrollados en aquella centuria para ser aplicados a la navegación. Su influencia, ejercida directamente sobre personajes como Tofiño y Mazarredo, se dejó notar ampliamente en los años de transición entre los siglos XVIII y XIX. Durante este último período, se produjo un notable aumento de las publicaciones sobre náutica, escritas sobre todo por una serie de oficiales de la Armada, que se convirtieron en los introductores de la navegación astronómica en nuestro país.

TRIGONOMETRÍA APLICADA A LA NAVEGACIÓN

Pedro Manuel Cedillo (1676?-1761).
Sevilla, Lucas Martín Hermosilla, 1718.

Comenzó Cedillo sus estudios de náutica y matemáticas en el Colegio de San Telmo hacia 1684. Después de algunos viajes a América, fue nombrado profesor de la citada institución, en la que permaneció hasta que, en 1724, pasó a explicar las mismas disciplinas náuticas en la Academia de Guardias Marinas de Cádiz. Unos años más tarde, culminaría su carrera docente al ser nombrado director del mencionado centro docente de la Marina.

Fue autor de numerosas obras, entre las que podríamos citar el *Compendio de navegación para la enseñanza de los niños del Real Colegio de San Telmo* (Sevilla, 1717), el *Vocabulario marítimo* (1728) y el *Tratado de cosmografía y náutica* (Cádiz, 1745), del que hablaremos más adelante.

En contra de la opinión generalizada de los pilotos, que se mostraban reacios a admitir las innovaciones matemáticas en su trabajo, Cedillo intentó demostrar con este libro la utilidad de la trigonometría en los cálculos necesarios para la navegación. Parece ser, según consigna el propio autor en la *Introducción*, que ésta fue la primera obra publicada en nuestro país sobre este asunto.

El libro de Pedro Manuel Cedillo está dividido en dos grandes partes, a saber:

1. Explicación de los fundamentos de la trigonometría.
2. Aplicación de los triángulos planos a la navegación.

Las demostraciones fueron suprimidas por el autor, que remite al lector que desee una mayor profundidad a las obras de Tosca y Zaragoza.

A Cedillo le sucedieron del Real Colegio de San Telmo dos personajes que también se distinguieron por sus tareas docentes y por la publicación de obras relacionadas con la náutica. El primero de ellos fue Juan Sánchez Reciente, profesor de matemáticas y autor del *Tratado de trigonometría náutica* (Sevilla, 1742) y del *Tratado de navegación theórica y práctica* (Sevilla, 1749). El otro autor destacable fue Francisco Barreda (1713-1791), profesor de matemáticas desde 1758 y autor del libro titulado *El marinero instruido en el arte de la navegación especulativo y práctico* (1765).

Práctica de la navegación, uso, y conocimiento de los instrumentos más precisos en ella, con las reglas para saber si están bien construidos

Blas Moreno y Zabala
Madrid, Manuel Román, 1732.

Oficial de la Armada española, Blas Moreno y Zabala ostentaba el grado de alférez de fragata en el momento de la publicación de este libro. Los únicos datos biográficos que hemos podido localizar sobre él en la bibliografía consultada, se refieren a los inicios de su carrera militar, que comenzó ingresando en la Academia de Guardias Marinas de Cádiz, en la que recibió las enseñanzas impartidas por personajes como Francisco de Orbe y Pedro Manuel Cedillo.

Parte el autor de la idea de que la teoría ha de ser completada, en el aprendizaje, con un buen conocimiento de los supuestos prácticos. Así pues, para evitar que los principiantes en la materia tuviesen que esforzarse en conseguir algunas informaciones no presentadas en el texto, Moreno y Zabala redactó esta obra dividiéndola en tres libros. El primero de ellos trata sobre la construcción, uso y correcciones de los instrumentos utilizados en la navegación. El segundo se centra en la explicación de cómo hacer una derrota correcta. Por último, el tercero de los libros recoge la mayor parte de las derrotas utilizadas para navegar desde Cádiz hacia América.

Tratado de la cosmographía, y náutica

Pedro Manuel Cedillo (1676?-1761)
Cádiz, Imprenta Real de Marina, 1745.

Pedro Manuel Cedillo, del que ya hemos hablado al comentar su otra obra, *Trigonometría aplicada a la navegación* (Sevilla, 1718), utilizó como base para la elaboración del libro que ahora analizamos un pequeño tratado de navegación que él mismo había publicado unos años antes, el *Compendio de navegación para la enseñanza de los niños del Real Colegio de San Telmo* (Sevilla, 1717).

El *Tratado de la cosmographía...* está formado por dos partes bien diferenciadas, una dedicada a la cosmografía y la otra a la náutica. De

esta forma, y siguiendo la costumbre ya iniciada en el siglo XVI, los principios básicos de la astronomía son presentados como una introducción imprescindible a las técnicas de navegación. La segunda parte trata sobre la construcción de los instrumentos más usuales en la navegación y todo lo referente a su práctica.

Lecciones náuticas, explicadas en el Museo Mathemático de el m.m. y m.l. Señorío de Vizcaya, noble villa de Bilbao y su ilustre Casa de Contratación

Miguel Archer
Bilbao, Antonio Egusquiza, 1756.

Miguel Archer, del que sólo sabemos que era capitán de fragata e hidrógrafo, según consta en la portada de su obra, reunió en ella algunas de las lecciones explicadas a sus alumnos de náutica. El manuscrito fue revisado por el ilustre Jorge Juan, por entonces Comandante de la Compañía de Guardias Marinas, que en su «Aprobación» escribió:

> Es de los mejores que jamás se hayan escripto en España, por lo que toca a la práctica de la navegación.

Esencialmente, esta obra trata de explicar los métodos necesarios para efectuar una navegación correcta, repasando aspectos como la astronomía aplicada a la navegación, los principios trigonométricos, la cartografía, la geografía o las tablas. Según indica el propio autor al principio de la obra, su intención era completar ésta con otros dos libros, dedicados respectivamente a los vientos y aparejos y al dominio del buque en una situación de guerra.

Compendio de navegación

Jorge Juan y Santacilia (1713-1773)
Cádiz, Imprenta de Guardias Marinas, 1757.

Realizó Jorge Juan sus primeros estudios en Orihuela, Zaragoza y Malta. En 1729 ingresó en el cuerpo de Guardias Marinas, trasladán-

dose a la Academia de Cádiz. Pronto fue embarcado y participó en expediciones navales a Orán y Nápoles. En 1734 fue designado, junto con Antonio de Ulloa, para realizar un viaje al Ecuador organizado por la Academia de Ciencias de París, con el fin de efectuar la medida del meridiano terrestre, trabajo importante y necesario a la hora de pronunciarse sobre alguna de las teorías existentes acerca de la forma de la Tierra.

Después de la publicación de los resultados de la expedición al virreinato del Perú, Jorge Juan centró su actividad en dos importantes aspectos de la ciencia: la navegación y la astronomía. Fue enviado por el marqués de la Ensenada a Inglaterra, con la intención de que tomase contacto con los principales constructores navales británicos y adquiriese toda la información posible para impulsar esta industria en España. Cuando ascendió a capitán de navío se hizo cargo de la dirección de la Compañía de Guardias Marinas. Organizó en Cádiz el observatorio astronómico anexo a la Academia de Guardias Marinas y se dedicó al estudio teórico y práctico de la construcción naval y de la navegación, utilizando la bahía de Cádiz como zona de pruebas de sus modelos.

Durante su estancia en Cádiz, al frente de la Compañía de Guardias Marinas, Jorge Juan redactó el *Compendio de navegación*, con la intención de dotar a las disciplinas náuticas impartidas en la Academia de un libro de texto manejable para los alumnos. En este libro quedaron reflejadas las nociones más importantes sobre teoría y práctica del pilotaje, variaciones de la aguja magnética, reglas para su corrección e instrucciones para la construcción y uso de las cartas planas y esféricas. El *Compendio de navegación* se compone de ocho grandes capítulos, cuyos títulos son los siguientes:

1.° Breve idea de la navegación.
2.° De las agujas de marear y del rumbo que sigue la nave.
3.° De la corredera y distancia que camina la nave.
4.° De las cartas.
5.° De la resolución de los problemas de navegación por el cálculo.
6.° De las correcciones que se deben hacer en la navegación.
7.° De las observaciones de latitud.
8.° Método de llevar el Diario en la navegación.

EXAMEN MARÍTIMO THEÓRICO PRÁCTICO, O TRATADO DE MECHÁNICA APLICADO A LA CONSTRUCCIÓN, CONOCIMIENTO Y MANEJO DE LOS NAVÍOS Y DEMÁS EMBARCACIONES

Jorge Juan y Santacilia (1713-1773)
Madrid, Francisco Manuel de Mena, 1771.

Producto de las experiencias realizadas en la bahía de Cádiz, y de los importantes conocimientos acumulados por Jorge Juan, surgió el *Examen marítimo*. La obra consta de dos tomos, precedidos por un prólogo en el cual el autor da un repaso a los estudios ya existentes sobre el mismo tema. El primer tomo es un tratado de mecánica. En él se estudian las definiciones y axiomas del movimiento, equilibrio, resistencia de los fluidos y centros de gravedad. En el segundo tomo se procede a aplicar lo tratado anteriormente al problema de la dinámica de las embarcaciones. Se consideran las características de las olas y su influencia en los movimientos del buque, los esfuerzos a los que está sometida una arboladura y la resistencia de la estructura de los navíos. La importancia de esta obra de Jorge Juan, tanto a nivel científico como práctico, fue bastante grande en su época, como lo demuestran sus sucesivas ediciones y traducciones a diversos idiomas. En 1783 fue traducida al francés por Pierre Levéque, en 1784 al inglés y en 1819 se editó en Milán la traducción italiana. En 1793 salió a la luz una segunda edición en castellano ampliada por Gabriel Ciscar, que enriqueció considerablemente la obra, añadiéndole nuevas teorías y numerosas notas al texto.

TRATADO DE NAVEGACIÓN

José de Mendoza y Ríos (1761-1816)
Madrid, Imprenta Real, 1787.

Oficial de la Armada, como tantos otros ilustrados españoles, Mendoza viajó a Londres en 1789 con la misión de localizar libros y tomar contacto con los científicos ingleses más relevantes. Fue elegido miembro de la Royal Society en 1793 y realizó diversos trabajos para el Gobierno y para la Armada como intermediario científico. En 1796 gestionó la compra del telescopio de Herschel para el Observatorio As-

tronómico de Madrid, firme en la insistencia de la necesidad de conocer los métodos empleados en Inglaterra para la construcción de instrumentos científicos de precisión. Su obra escrita se centró en las aportaciones a la navegación, a la que contribuyó decisivamente con sus *Tablas...* (Madrid, 1800) y con el perfeccionamiento del círculo de reflexión.

El *Tratado de navegación* de Mendoza está compuesto por dos volúmenes bastante extensos. El primero, que se dedica a dar unas nociones básicas de geografía, astronomía y cronología, incluye un capítulo titulado *Principios de astronomía*, en el que se describen los fenómenos astronómicos y los métodos de observación. El segundo volumen trata de la navegación propiamente dicha, detallando el uso de los instrumentos y las soluciones a los problemas de la hora, la latitud y la longitud.

Lecciones de navegación para el uso de las Compañías de Guardias-Marinas

José de Mazarredo Salazar (1745-1812).
Isla de León, Academia de Guardias Marinas, 1790.

La actividad científica de José de Mazarredo marcó un hito importante en la náutica española del siglo XVIII. La navegación, y la astronomía como método, fueron temas tratados con interés por este marino ilustrado, que llegó a desempeñar importantes cargos de responsabilidad al frente de la Marina española de la segunda mitad del siglo XVIII. Habría que añadir a su labor como navegante sus aportaciones a la geografía, mediante la determinación de la posición geográfica de diversos lugares, su interés por el perfeccionamiento de los instrumentos astronómicos y su importante papel en la decisión del traslado a la Isla de León del Real Observatorio de Cádiz.

Las *Lecciones de navegación...* indican en su título la principal intención de su autor, que era la utilización de su trabajo como libro de texto en las Academias de Guardias Marinas. La obra está estructurada siguiendo el esquema del *Compendio de navegación* publicado años antes por Jorge Juan (Cádiz, 1757), a cuyas ideas básicas fue añadiendo los nuevos conocimientos, especialmente los relacionados con las observaciones astronómicas necesarias para la determinación de la longitud.

MEMORIA SOBRE ALGUNOS MÉTODOS NUEVOS DE CALCULAR LA LONGITUD POR LAS DISTANCIAS LUNARES

José de Mendoza y Ríos (1762-1816)
Madrid, Imprenta Real, 1795.

Esta memoria fue la segunda obra publicada por Mendoza y Ríos, después de su *Tratado de navegación* (Madrid, 1787), y antes de dedicarse plenamente a la elaboración de las famosas tablas de navegación, tan utilizadas por los navegantes durante buena parte del siglo XIX. Según algunos autores, estos nuevos procedimientos utilizados por Mendoza en la aplicación del método de las distancias lunares pueden ser considerados como una de las más importantes aportaciones españolas al desarrollo de la navegación en los últimos años del siglo XVIII.

CONVERSACIONES DE ULLOA CON SUS TRES HIJOS EN SERVICIO DE LA MARINA INSTRUCTIVAS Y CURIOSAS, SOBRE LAS NAVEGACIONES, Y MODO DE HACERLAS, EL PILOTAGE Y LA MANIOBRA

Antonio de Ulloa (1716-1795).
Madrid, Imprenta de Sancha, 1795.

Antonio de Ulloa ingresó en la Academia de Guardias Marinas de Cádiz en 1733, siendo designado, poco tiempo después, como compañero de Jorge Juan en la famosa expedición al virreinato del Perú organizada por la Academia de Ciencias de París. A su regreso fue apresado por los ingleses, aunque, una vez en Londres, recuperó su libertad y fue admitido en la Royal Society. De nuevo en Madrid, colaboró con Jorge Juan en la publicación de los resultados del viaje a la América Meridional. Mientras el alicantino se encargó de la redacción de las *Observaciones astronómicas...*, él hizo algo parecido con la *Relación histórica del viaje...* (Madrid, 1748). A partir de entonces, inició una larga serie de trabajos y servicios a la Marina española.

A modo de relato a sus tres hijos, Ulloa hace en esta obra una reflexión sobre sus experiencias en todo lo relacionado con los viajes por mar. Se trata de un total de quince conversaciones, en las que se adivina claramente la intención de aplicar a la práctica los conocimien-

tos teóricos. El libro se completa con un vocabulario de términos y expresiones propias de los navegantes españoles.

Memoria sobre las observaciones de latitud y longitud en el mar

Dionisio Alcalá-Galiano (1762-1805)
Madrid, viuda de Joachín Ibarra, 1796.

Alcalá-Galiano, guardiamarina en 1775, formó parte también de aquel importante grupo de oficiales de la Marina española que, siguiendo los pasos de Jorge Juan, elevaron considerablemente el nivel de la ciencia en nuestro país a finales del siglo XVIII. Entre sus trabajos más importantes cabe destacar su colaboración en la elaboración del *Atlas marítimo* y de los *Derroteros* de Vicente Tofiño, en la expedición de Antonio de Córdoba al estrecho de Magallanes (1785), en los trabajos cartográficos de Tofiño en las islas Azores (1788) y en la expedición de Alejandro Malaspina (1789-1794), durante la cual participó en las observaciones del paso de Mercurio por delante del Sol de 1789 en Montevideo.

Según hace constar el propio autor en los primeros párrafos de la memoria, su intención fue la de «reunir en un quaderno los principales conocimientos prácticos del Pilotage astronómico, proporcionándolos a los que sólo poseen el ordinario». De esta forma, Alcalá-Galiano pensaba difundir sus conocimientos en materia de navegación, que no eran pocos, pues fue considerado por sus contemporáneos como uno de los navegantes más innovadores del último tercio del setecientos. Los principales aspectos tratados en el libro fueron resumidos por el propio Alcalá-Galiano al comienzo del mismo:

1.° Hallar la longitud de un lugar por dos alturas de Sol, observadas fuera del meridiano.
2.° Deducirla por algunas estrellas en los crepúsculos, aunque estén distantes de su paso por él.
3.° Hallar la longitud por la distancia de la Luna al Sol, o a una estrella.
4.° Calcularla por medio de un reloj marino.

RECHERCHES SUR LES SOLUTIONS DES PRINCIPAUX PROBLÈMES DE L'ASTRONOMIE NAUTIQUE

José de Mendoza y Ríos (1762-1816)
Londres, Société Royale, 1797.

Este trabajo fue leído por su autor ante la Royal Society de Londres en 1796, siendo publicado en las *Philosophical Transactions* durante la primera mitad del año siguiente. En él, Mendoza y Ríos anuncia la inminente publicación de un tratado de astronomía náutica y de unas tablas para la navegación. La memoria estudia, de forma general, los principales problemas que pueden plantearse en la astronomía náutica. La primera parte trata de la determinación de la latitud desde un barco por observaciones de alturas del Sol. La segunda analiza la reducción de las distancias de la Luna al Sol o a una estrella, observadas en la mar, para determinar la longitud.

MEMORIA SOBRE LOS MÉTODOS DE HALLAR LA LONGITUD EN LA MAR POR LAS OBSERVACIONES LUNARES

Francisco López Royo (?-1798)
Madrid, Imprenta Real, 1798.

Francisco López Royo, del que no hemos podido localizar más datos que su graduación como alférez de navío, se dedica en este libro a analizar los diversos métodos propuestos por los astrónomos más importantes, a lo largo de los siglos XV, XVI, XVII y XVIII, para calcular la longitud geográfica de un lugar determinado mediante la observación de las distancias de la Luna a las estrellas. Utilizando una serie de problemas, que servían para explicar algunos de estos métodos, López Royo aspiraba a dar a sus compañeros en la navegación algunos conocimientos que les permitiesen hallar en la mar su longitud con la mayor exactitud posible.

Colección de tablas para varios usos de la navegación

José de Mendoza y Ríos
Madrid, Imprenta Real, 1800.

Durante su estancia en Inglaterra, Mendoza y Ríos se afanó en concluir la elaboración de unas tablas para la navegación que llegarían a ser muy conocidas en todo el mundo y cuya primera edición en inglés fue sufragada por el Almirantazgo, el Board of Longitude y la East India Company. Aproximadamente la mitad de las tablas contenidas en esta obra están dirigidas al problema de despejar las distancias lunares, cuya solución es considerada como la más famosa contribución de este autor español a la navegación.

Como ya hemos dicho, las tablas para uso de los navegantes fueron la obra más relevante y difundida de Mendoza y Ríos. Tras la primera edición, llevada a cabo en Madrid (1800), las tablas de Mendoza fueron publicadas en Londres en diversas ocasiones (1801, 1805, 1809), bajo el título *A complete collection of tables for navigation and nautical astronomy*. Las sucesivas ediciones de las Tablas de Mendoza fueron empleadas por astrónomos y navegantes hasta bien entrado el siglo XIX. Prueba de ello son ediciones como las realizadas en 1842 en Brest (*Mr. de Mendoza's principal tables for deducing very readly the longitude from lunar distances*) y en 1850 en Madrid (*Colección completa de tablas para los usos de la navegación y astronomía náutica*).

VII

LA EVOLUCIÓN EN LA PRIMERA MITAD DEL SIGLO XIX

Los problemas de la ciencia española en el xix

El siglo xix significó para la ciencia europea la definitiva aceptación de la estrecha relación existente entre progreso científico, desarrollado técnico y bienestar social. Los diferentes gobiernos intentaron, a partir de entonces, establecer políticas científicas orientadas hacia la consecución de mejoras en las condiciones de vida de las personas, lo que dio lugar a que las investigaciones científicas y los avances técnicos se convirtiesen en un verdadero fenómeno social.

A fines del siglo xviii, las nuevas condiciones políticas creadas por la Revolución Francesa y su extensión por toda Europa, gracias al imperio napoleónico, vinieron acompañadas por importantes reformas en las enseñanzas que, con el tiempo, dieron lugar a un importante cambio en la mentalidad de la nueva generación de científicos y estudiosos.

De esta forma, se puede decir que el nuevo siglo se caracterizó por una serie de factores como la mejora en la formación de los científicos y los técnicos, el perfeccionamiento técnico que proporcionó a éstos un nuevo y más precioso instrumental y la aparición de numerosas publicaciones de carácter científico y bibliográficas. En un siglo de nacionalismo y de fronteras, surgió muy pronto la necesidad de mantener contacto entre las personas interesadas por cada una de las disciplinas científicas, lo que puede servir para explicar la creación de numerosas sociedades científicas y culturales, y la aparición de revistas y otras publicaciones de divulgación que intentaban dar a conocer a la opinión pública las noticias de los descubrimientos científicos y de los avances técnicos que podían tener alguna aplicación en la vida cotidiana.

En España, las negativas circunstancias históricas que caracterizaron al inicio de este nuevo siglo trajeron como consecuencia un auténtico colapso de las actividades científicas. El enfrentamiento entre tradicionalistas y partidarios de la renovación y del contacto con Europa afectó directamente a la última generación de científicos, fruto de la política de Carlos III. Sus integrantes, partidarios en una gran parte de la mentalidad ilustrada, se vieron inmersos en una polémica que terminó paralizando la producción científica y entorpeciendo el contacto con Europa. Éste fue, por tanto, el ambiente que encontraron aquellos personajes que estaban llamados a dar continuidad en el tiempo al interesante desarrollo científico y técnico efectuado en la España de la segunda mitad del siglo XIX.

Esta situación se mantuvo durante todo el primer tercio de la centuria, hasta la muerte de Fernando VII. A partir de entonces, pueden adivinarse algunos cambios que hacían augurar tiempos mejores para la ciencia y la técnica. Esta nueva época, que sirvió de preparación para el desarrollo cultural y científico del último tercio del siglo XIX, se caracterizó por la vuelta de los exiliados, que introducirían los conocimientos adquiridos en el extranjero, y por un aumento de la edición y traducción de obras científicas.

Los vaivenes de esta evolución que hemos descrito de forma general para la ciencia y la técnica en la España de la primera mitad del siglo pasado, fueron sufridos por la astronomía y la náutica, disciplinas en las que fueron desapareciendo las aportaciones de importancia que habían caracterizado al siglo precedente, debido al estado de letargo en el que quedaron sus principales instituciones (la marina y los observatorios).

Durante toda la primera mitad de la centuria, la actividad astronómica se redujo drásticamente. El Observatorio Astronómico de Madrid fue destruido por las tropas napoleónicas y, desde entonces, se mantuvo inactivo hasta que, debido a las reformas generales de la instrucción pública emprendidas en 1845, se decidió ponerlo en funcionamiento. Para ello hubo que recurrir al Observatorio de la Marina de San Fernando, donde fue enviado a realizar un curso de astronomía el personal designado para poner en marcha a la institución madrileña.

El Observatorio de San Fernando, gracias a su situación geográfica, no sufrió de lleno los efectos de la Guerra de la Independencia como le había ocurrido al de Madrid. De todas formas, se vio afectado por la falta de personal, pues todos los oficiales de la Armada destina-

dos en la Isla de León fueron reclamados para participar en las acciones bélicas. Sin embargo, la continuidad en la publicación del *Almanaque Náutico* y la personalidad científica de algunos de sus directores convirtieron a esta institución en la única dedicada a la astronomía de la primera parte del siglo XIX español. De todas formas, la difícil y callada labor desarrollada por los astrónomos de San Fernando durante estos años posibilitaría la brillantez de los trabajos astronómicos desarrollados durante la última parte del XIX.

La crisis de la Marina

Fueron muy diversos los factores que incidieron en la negativa evolución de la Marina española durante los primeros años del siglo XIX. La buena situación naval española que había sido conseguida gracias a los grandes esfuerzos de los gobiernos ilustrados se vino abajo debido a la confluencia de factores políticos y técnicos. Por un lado, habría que tener en cuenta la negativa influencia del apoyo a las acciones antibritánicas de Napoleón y de la pérdida de las posesiones americanas. Por otro lado, no podemos olvidar la situación creada por las importantes innovaciones técnicas aplicables a la navegación, surgidas como consecuencia de la revolución industrial que dieron lugar, en un corto espacio de tiempo, al paso de la navegación a vela a la de vapor y de los barcos de madera a los buques metálicos y acorazados.

Dos acontecimientos históricos de envergadura marcaron el fin de la potencia naval de la Marina ilustrada que tantos años había costado organizar. El primero de ellos, y el más citado, fue la batalla de Trafalgar (1805), donde la sumisión política a los planes de Napoléon dio lugar a una tremenda derrota moral y material para la potencia naval española. Así estaban las cosas cuando estalló la Guerra de la Independencia, en la que gran parte de la infraestructura técnica y de personal de la Armada fue utilizada y destruida en las campañas terrestres.

El estado de abandono en el que había quedado la Marina, su personal y sus dependencias fue tan dramático que dio lugar a un duro informe del ministro Vázquez Figueroa, en el que podían leerse párrafos como el siguiente:

> Todo aquel que no haya visto los Departamentos y buques no podrá creer sin repugnancia el mal estado de quanto tiene relación con la

> Marina, y aún viéndolo, materialmente, con dificultad se convencerá de la indiferencia o desprecio con que se le trata. Cádiz, Ferrol y Cartagena, puntos admirados en otro tiempo por sus soberbios y suntuosos Arsenales en donde brillaban las ciencias y las artes, como se acredita por los muchos y muy buenos y nada vulgares productos del entendimiento humano; en donde se conocían los talentos y en donde España presentaba una idea exacta de su poder y de su riqueza, son actualmente en donde con propiedad puede afirmarse que la cruel desolación y la espantosa miseria han fixado su lúgubre domicilio. (*Exposición sobre el estado de la Marina*, 20 de octubre de 1812).

La negativa situación que acabamos de describir incidió, sin lugar a dudas, junto a otros factores, en la impotencia demostrada por España a la hora de controlar el proceso emancipador de los territorios americanos. Como consecuencia de ello, España se vio privada de materias primas y del mercado americano justo en el momento en que había comenzado a desarrollarse la revolución industrial. La Marina, que había llegado a ser una de las más potentes del mundo durante la segunda mitad del siglo precedente, tuvo que conformarse entonces con un papel secundario y con una crisis de identidad en la que llegó a ser puesta en duda la necesidad de mantenerla como tal, una vez perdidas las posesiones de ultramar. Ello explica que la política seguida por los ministros de Marina durante el reinado de Fernando VII (Salazar y Vázquez Figueroa), fuese encaminada a salvar los restos de la potencia naval del XVIII, más que a reformarla o revitalizarla.

El proceso de degradación de la Marina fue continuo a lo largo de toda la primera mitad del siglo XIX. Aunque su estrutura organizativa, diseñada en la época ilustrada y basada en tres grandes departamentos marítimos divididos en comandancias, se mantuvo, la política de reducción de gastos provocada por la penuria económica del Estado dio lugar a una escasez de buques y a una drástica reducción de personal, que se vio plasmada incluso en el cierre de las Academias de Guardias Marinas.

Váquez Figueroa, nombrado de nuevo ministro de Marina en 1834, planteó entonces al Gobierno la necesidad de decidir si se renunciaba al mantenimiento de la Armada, ya casi inexistente, o se iniciaba una rápida restauración del poderío marítimo español. En aquellos momentos, la Armada española sólo contaba con dieciocho buques: tres navíos, cuatro fragatas, tres corbetas, siete bergantines y un bergantín-goleta.

Las ideas de Váquez Figueroa encontrarían su realización unos años más tarde, cuando, a mediados de siglo, la recuperación política y económica registrada durante el reinado de Isabel II permitiera un cierto resurgir naval. De todas formas, las innovaciones técnicas y la introducción del vapor como medio de propulsión provocaron un cambio tan fuerte en la construcción naval que cualquier flota de carácter tradicional quedó de pronto atrasada e inservible, lo que, sin duda, facilitó la recuperación naval española durante ese período.

El Almanaque Náutico

Como hemos podido ver, el método de las distancias lunares puesto a punto por los astrónomos ingleses del dieciocho, fue accesible para los navegantes a partir de 1767, fecha en la que apareció por primera vez en Inglaterra el *Nautical Almanac*, que incluía las tablas que habían de ser utilizadas en la aplicación de dicho método. Los responsables de la Marina española intentaron desde un primer momento, al igual que ocurriera con la cronometría de longitudes, la introducción de estas nuevas técnicas entre los marinos más aventajados. Sin embargo, existían algunas trabas que habría que superar para conseguir una buena introducción y aclimatación de este método, puesto que el *Nautical Almanac* resultaba difícil de encontrar generalmente y, además, todas sus tablas estaban calculadas respecto al meridiano de Greenwich. La acción oficial para el fomento de estos nuevos usos en la navegación debía dirigirse a la introducción de éstos en las enseñanzas impartidas en la Academia de Guardias Marinas a los futuros oficiales y a la adquisición de los instrumentos náuticos pertenecientes a esa nueva generación de instrumentos de reflexión adaptados para su uso en el mar, característicos del siglo XVIII.

La publicación de tablas en España siguió muy de cerca las acciones iniciadas por los ingleses y los franceses. Hacia la década de 1780 el *Estado General de la Armada*, comenzó a publicar un apéndice con las tablas de efemérides náuticas extraídas, de la *Connaisance des Temps*, publicación francesa que a su vez, había comenzado a incluir los datos publicados en el *Nautical Almanac* a partir de 1774.

El gran desarrollo adquirido por la Marina española a lo largo del siglo XVIII, caracterizado por la formación de una oficialidad que pu-

diese hacerse cargo de las expediciones científicas que el Estado pretendía organizar, hizo surgir una necesidad hasta entonces no sentida: la publicación de unas efemérides astronómicas que ayudasen a la navegación. De forma parecida a lo ocurrido respecto a la formación científica de los citados oficiales, el Real Observatorio de Cádiz fue designado como la institución más apropiada en la que crear una oficina que se encargase de elaborar esas efemérides.

Los orígenes de la decisión de publicar un almanaque náutico, nombre con el se conocía a este tipo de tablas astronómicas, habría que buscarlos en diversas, pero importantes causas:

- La dependencia existente hasta entonces de las efemérides publicadas en Inglaterra *(The Nautical Almanac)* y en Francia *(Connaissance des Temps)*, escritas en otros idiomas, referidas a otros meridianos y difíciles de encontrar en España.
- La necesidad de ampliar y superar unas tablas que habían comenzado a salir en el *Estado General de la Armada*, publicación en la que aparecían como un suplemento.
- El aumento de la información astronómica y geográfica aportada por las expediciones científicas ilustradas, cuyos datos habría que referir al meridiano de Cádiz.

Cuando, en los últimos meses de 1790, el ministro de Marina, Valdés ordenó que los oficiales destinados en el Real Observatorio de Cádiz redactasen las tablas astronómicas que se publicarían en el *Estado General de la Armada*, José de Mazarredo, a la sazón Comandante de las Compañías de Guardias Marinas, se propuso conseguir la publicación de un almanaque independiente con una tirada lo suficientemente amplia, que permitiese entregar uno a cada oficial de la Armada. A lo largo de 1791, mientras se procedía a la preparación del primero de dichos almanaques, se desarrolló una polémica entre el citado Mazarredo y José de Mendoza y Ríos, otro de los partidarios de la publicación de unas efemérides españolas. Mendoza se inclinaba por la elaboración de un almanaque estrictamente náutico por personal formado en el extranjero o contratado al efecto, si se consideraba urgente la necesidad de la publicación. Mazarredo, por el contrario, insistía en publicar unas efemérides astronómicas completas y formar para ello un equipo de calculadores. Se impusieron las ideas de este último, según las cuales en el Observatorio, además de los oficiales fijos encargados de las prácticas astronómicas, trabajarían los calculado-

res que, integrados en una oficina de efemérides, tendrían la misión de realizar los cálculos necesarios para la elaboración del almanaque.

El proceso de elaboración del primer volumen de esta publicación no hizo más que evidenciar la enorme carga de trabajo que había recaído sobre la institución gaditana al encomendarle esta nueva tarea. Aunque, como ya hemos visto, Mazarredo se proponía la elaboración de un trabajo totalmente independiente de los publicados en otros países, en el caso del primer volumen presentado no hubo más remedio que proceder a la reducción al meridiano de Cádiz de las tablas publicadas en el *Nautical Almanac* inglés. Si tenemos en cuenta que ello llevó al personal destinado en el Observatorio más de seis meses de trabajo, es posible imaginarse el acuciante problema de falta de personal que a partir de 1792 afectaría al establecimiento, en el que habían tenido que ser abandonadas gran parte de las observaciones, durante ese período de tiempo.

El primer ejemplar de la nueva publicación fue impreso en Madrid en 1791, con el título de *Almanaque Náutico* y *Efemérides Astronómicas para el año de 1792, calculadas de orden de S.M. para el Observatorio de Cádiz.* El sumario de este primer almanaque, tal como lo entendemos hoy día, podría ser el siguiente:

— Lista del personal del Observatorio Real de Cádiz.
— Prefación (prólogo del Director).
— Tablas.
— Explicación y uso de las tablas.
— Colección de varias tablas auxiliares para los usos de la astronomía y navegación.
— Explicación de las tablas auxiliares.

El capítulo al que hemos llamado «Tablas» era el que presentaba las efemérides astronómicas propiamente dichas, que aparecían ordenadas así:

— Explicaciones de los caracteres usados.
— Artículos principales del calendario para 1792.
— Oblicuidad aparente de la eclíptica para 1792.
— Eclipses de Sol y de Luna para 1792.
— Tablas mensuales de las principales efemérides astronómicas.

Como es de suponer, la elaboración de un trabajo de estas características incidió directamente en el abandono de las tareas observacionales del Observatorio. El gran esfuerzo realizado por el personal, que

MEMORIA

SOBRE ALGUNOS MÉTODOS NUEVOS

DE CALCULAR LA LONGITUD

POR LAS DISTANCIAS LUNARES:

Y APLICACION DE SU TEÓRICA

Á LA SOLUCION DE OTROS PROBLEMAS DE NAVEGACION.

POR DON JOSEPH DE MENDOZA Y RIOS,
Capitan de Navio de la Real Armada, individuo de la Real Sociedad de Lóndres, y correspondiente de las Reales Academias de las Ciencias de Paris y de Lisboa.

DE ÓRDEN SUPERIOR.

MADRID: EN LA IMPRENTA REAL.

AÑO DE 1795.

Figura 23. Portada de una de las obras sobre astronomía náutica de José de Mendoza y Ríos.

pronto consiguió presentar un almanaque calculado íntegramente con referencia al meridiano de Cádiz (exceptuando las distancias lunares, el *Almanaque Náutico para 1795)*, tuvo como consecuencia su continua dedicación a los cálculos rutinarios.

En el cuadro que presentamos a continuación se puede observar la evolución de los trabajos para el almanaque cuyos cálculos fueron realizados directamente para Cádiz, es decir, que no fueron reducidos del *Nautical Almanac*, durante los primeros años de su publicación.

Cálculos del Almanaque realizados en Cádiz

1792

— Fenómenos sujetos a paralaje.
— Lugares de Herschel (Urano).
— Eclipses de los satélites de Júpiter.

1793

— Lugares del Sol, por las tablas de Herschel.
— Lugares de la Luna para cada día, por las tablas de Herschel.

1794

— Lugares del Sol, Mercurio, Venus y Marte, por las tablas de Lalande.
— Lugares de Júpiter, Saturno y Herschel (Urano), por las tablas de Delambre.
— Lugares de la Luna para media noche.
— Eclipses de los satélites de Júpiter, por las tablas de Wargentin.

En 1794 fue aprobada una propuesta de Mazarredo según la cual se debía organizar en el Observatorio una oficina de calculadores. Sin embargo, los problemas no acabaron cuando esta oficina fue dotada de personal. La falta de una reglamentación interna y de las nulas posibilidades de promoción llevaron a los nuevos calculadores a solicitar reiteradamente la obtención de graduaciones militares, algo a lo que se habían opuesto desde un primer momento tanto Mazarredo como Mendoza. Durante varios años, los calculadores no encontraron nin-

guna respuesta favorable a sus solicitudes, que intentaron ser acalladas mediante subidas de sueldo. Lo cierto es que su situación profesional no tenía muy buenas perspectivas, sobre todo en unos años de crisis como los iniciales del siglo XIX, en los que se prefería el valor seguro de la graduación militar al futuro incierto de un cuerpo de calculadores. Sobre este tema, sería conveniente recordar lo afirmado por Lafuente y Sellés en su libro sobre el Observatorio de Cádiz:

> de hecho el rango socio-profesional de los calculadores era el de asalariados sin derecho a pensiones de jubilación y sin participación en el Monte Pío de la Marina. Así pues, no se reglamentó su participación en una carrera militar, ni se les concedió los beneficios sociales que poseían otros empleados civiles de la Armada [29].

Los primeros años del siglo XIX contemplaron cómo la recién creada Oficina de Efemérides, y la propia iniciativa de elaborar un almanaque español para uso de los marinos, estuvieron a punto de desaparecer. Las protestas de su personal y el contexto bélico afectaron negativamente a los trabajos de cálculo, que según pasaban los años iban quedando atrasados, hasta el punto de que la anticipación de la publicación en 1810 era sólo de un año. Cuando en 1813 Joaquín Francisco Fidalgo se hizo cargo de la dirección del Observatorio, elevó un informe sobre el estado del establecimiento en el que se planteaba la posibilidad de conceder a los calculadores algunas de las peticiones que venían planteando desde años atrás. Ese mismo año, mediante un decreto fechado el 11 de septiembre, la Oficina de Efemérides fue reglamentada, estableciéndose escalas de antigüedad y jerarquización entre sus empleados, además de la regularización de sus pensiones y el aumento de sus salarios.

Además, el *Almanaque Náutico*, única publicación de este tipo en nuestro país, se convirtió en el marco de difusión de las novedades más importantes registradas en la astronomía y en la náutica, incluyendo entre sus páginas, en forma de apéndices, numerosos trabajos sobre temas relacionados con la astronomía náutica y la navegación.

[29] Véase A. Lafuente y M. Sellés, *El Observatorio de Cádiz (1753-1831)*, Madrid, 1988.

Memorias publicadas en el Almanaque Náutico
(1792-1825)

F. López Royo, «Método para encontrar la distancia verdadera de la Luna al Sol, o a una estrella, conocida la aparente, u observada, y las alturas aparentes de dichos astros», *Almanaque Náutico para el año de 1795* (Madrid, 1794).

D. Alcalá-Galiano, «Método para determinar la latitud de un lugar por medio de la estrella polar observada en los crepúsculos», *Almanaque Náutico para el año de 1796* (Madrid, 1795).

D. Alcalá-Galiano, «Método de corregir la distancia de la Luna al Sol o a una estrella por medio de las alturas aparentes de ambos astros, y su distancia aparente», *Almanaque Náutico para el año de 1796* (Madrid, 1795).

—«Planta, alzado y distribución del nuevo Observatorio», *Almanaque Náutico para el año de 1801* (Madrid, 1800).

—«Método de Bowdditch para corregir las distancias lunares», *Almanaque Náutico para el año de 1801* (Madrid, 1800).

J. Ortiz Canelas, «Extracto de las observaciones astronómicas hechas en el Real Observatorio de Marina de la Isla de León... (1802-1804)», *Almanaque Náutico para el año de 1804* (Madrid, 1802).

C. de Churruca, «Discurso sobre la ocultación de Aldebarán por la Luna, observada en Puerto Rico la noche del 21 de Octubre de 1793...», *Almanaque Náutico para el año de 1804* (Madrid, 1802).

C. de Churruca, «Método geométrico para determinar todas las inflexiones de la quilla de un buque quebrantado, igualmente que la cantidad de su arrufo, en caso de que lo hubiese», *Almanaque Náutico para el año de 1804* (Madrid, 1802).

J. Ruiz de Apodaca, «Reflexiones del Jefe de Escuadra D. Juan Ruiz de Apodaca sobre la dirección, efectos y resultados de dos rayos que en el día 15 de Octubre de 1802 cayeron en los navíos «Reyna Luisa» y «Argonauta» estando próximos y en conserva sobre el cabo de Palos en la costa de España», *Almanaque Náutico para el año de 1804* (Madrid, 1802).

G. Ciscar, «Discusión sobre las longitudes de algunos puntos en que se observó el eclipse de Sol de 11 de Febrero de 1804», *Almanaque Náutico para el año de 1806* (Madrid, 1804).

J. de la Cuesta, «Extracto de las observaciones astronómicas hechas en el Real Observatorio de Marina de la Isla de León... (1799-1802)», *Almanaque Náutico para el año de 1807* (Madrid, 1805).

J. Luyando, «Memoria sobre el método para hallar la latitud por alturas tomadas fuera del meridiano», *Almanaque Náutico para el año de 1807* (Madrid, 1805).

J. Ortiz Canelas, «Observaciones meteorológicas hechas el año de 1804 en la Isla de León, frente de la Academia de Guardias Marinas, piso bajo y sobre el nivel del mar 65 pies de Burgos», *Almanaque Náutico para el año de 1807* (Madrid, 1805).

J. Tiscar, «Extracto de los cálculos hechos en el Real Observatorio de la Isla de León del eclipse de Sol de 11 de Febrero del año de 1804, y de las ocultaciones por la Luna de las estrellas Escorpio el 17 de Julio del mismo año y Géminis el 26 de Noviembre de 1787...», *Almanaque Náutico para el año de 1807* (Madrid, 1805).

—«Observaciones hechas en Tortosa y París del eclipse de Sol acaecido el día 16 de Agosto de 1803, y resultados sobre la diferencia de Meridianos entre el Observatorio antiguo de Cádiz y el Nacional de París», *Almanaque Náutico para el año de 1807* (Madrid, 1805).

—«Observaciones astronómicas hechas en diversos parajes, de quienes se hace uso en los cálculos que a continuación se expresarán», *Almanaque Náutico para el año de 1807* (Madrid, 1805).

—«Observación del paso de la Luna ocultando Antares desde Santoña», *Almanaque Náutico para el año de 1807* (Madrid, 1805).

J. Espinosa, «Extracto de las observaciones astronómicas que han servido de fundamento a las Cartas de la costa Noroeste de América publicadas por la Dirección de Trabajos Hidrográficos, a continuación del viaje de las goletas Sutil y Mexicana al estrecho de Juan de Fuca (1805)», *Almanaque Náutico para el año de 1809* (Madrid, 1806).

J. Ortiz Canelas, «Memoria sobre el eclipse de Sol del día 16 de Junio de 1806. Observaciones en la Isla de León», *Almanaque Náutico para el año de 1809* (Madrid, 1806).

J. Ortiz Canelas, «Mayores mareas de los años 1806, 1807, 1808 y 1809...», *Almanaque Náutico para el año de 1809* (Madrid, 1806).

J. Ortiz Canelas, «Memorias sobre la ocultación de Antares por la Luna, observada el día 20 de Mayo de 1805 (cuenta astronómica)», *Almanaque Náutico para el año de 1810* (Madrid, 1807).

G. Ciscar, «Ventajas de una nueva braza, comprendida seis millones de veces en el cuadrante del meridiano», *Almanaque Náutico para el año de 1810* (Madrid, 1810).

J. Espinosa, «Noticia de varias observaciones astronómicas que pueden servir para mejorar las cartas hidrográficas», *Almanaque Náutico para el año de 1813* (Madrid, 1812).

J. C. Burckhardt, «Tablas de aberración, nutación y precesión de las treinta y seis estrellas que comúnmente hacen más uso los astrónomos», *Almanaque Náutico para el año de 1821* (Madrid, 1818).

—«Cálculo de las latitudes y uso de las tablas generales de calcular las alturas meridianas por las tomadas antes y después del mediodía», *Almanaque Náutico para el año de 1821* (Madrid, 1818).

—«Resumen histórico crítico sobre el uso del barómetro para medir alturas, con algunas reflexiones sobre el modo de aplicar las observaciones barométricas a tan importante problema», *Almanaque Náutico para el año de 1822* (Madrid, 1819).

J. Sánchez Cerquero, «Tabla para facilitar el cálculo de la ecuación de alturas correspondientes», *Almanaque Náutico para el año de 1823* (Madrid, 1820).

B. de Lindenan, «Tablas para calcular la distancia horizontal entre dos lugares conocida la elevación relativa y el ángulo de altura», *Almanaque Náutico para el año de 1824* (Madrid, 1821).

—«Sobre el método de hallar la latitud cuando no se puede observar la altura meridiana del Sol», *Almanaque Náutico para el año de 1824* (Madrid, 1821).

J. Sánchez Cerquero, «Reflexiones sobre el método de hallar la latitud en la mar por medio de dos alturas del Sol observadas fuera del meridiano», *Almanaque Náutico para el año de 1826* (Madrid, 1823).

—«Método fácil y breve para corregir las distancias aparentes de la Luna», *Almanaque Náutico para el año de 1826* (Madrid, 1823).

J. Sánchez Cerquero, «Fórmulas nuevas para calcular la aberración de los planetas en longitud y latitud», *Almanaque Náutico para el año de 1828* (Madrid, 1825).

—«Tablas de logaritmos proporcionales», *Almanaque Náutico para el año de 1828* (Madrid, 1825).

Como ya hemos podido ver en lo tratado hasta ahora, los principales objetivos planteados cuando se tomó la decisión de impulsar la elaboración de un almanaque náutico en el Observatorio de la Marina fueron, esencialmente, la consecución de un adelanto de tres años en su publicación (para facilitar su llegada a los buques establecidos en ultramar) y la paulatina liberación de las tablas inglesas, mediante cuya reducción al meridiano de Cádiz habían podido salir a la calle los primeros volúmenes de la publicación. Ambos objetivos, a pesar de las tremendas dificultades por las que atravesó la organización de los cálculos comenzaron a ser alcanzados en la segunda década del siglo pasado. Tras unos primeros años de constantes oscilaciones, y una vez superado el profundo bache causado por las consecuencias de la invasión francesa, la antelación con la que era publicado el trabajo pudo pasar de uno (1816) a tres años (1822). La dependencia del *Nautical Almanac* fue suprimida casi totalmente, como ya se dijo, en el volumen de 1794. Las tablas para el cálculo de las distancias lunares, única parte de la publicación que seguía siendo copiada y reducida al meridiano de Cádiz, fueron preparadas íntegramente por primera vez para el almanaque de 1811. Podemos afirmar, por tanto, que la segunda década del XIX marcó el inicio de la paulatina consolidación de una tarea cuya asignación al Observatorio había provocado no pocos trastornos en su funcionamiento.

PRINCIPALES OBRAS DE NÁUTICA (1800-1850)

Repasaremos, para finalizar, la producción impresa sobre temas náuticos editada durante la primera parte del siglo XIX. En primer lugar, siguiendo el mismo sistema que ha sido empleado en los capítulos anteriores para el estudio de los libros de náutica, se comentarán algunas de las obras más destacadas y, más adelante, se presentará una relación de aquellos dignos de mención.

LECCIONES DE NAVEGACIÓN, O PRINCIPIOS NECESARIOS A LA CIENCIA DEL PILOTO

Dionisio Macarte y Díaz
Madrid, Imprenta de Sancha, 1801.

Nos encontramos de nuevo ante otro de esos autores de obras sobre astronomía y navegación, cuyos datos biográficos son de difícil localización. Nada aparece en la bibliografía consultada, además de lo consignado en su propia obra: oficial de la Armada y maestro de la Academia de Pilotos de Ferrol.

Podemos enmarcar esta obra de Macarte y Díaz dentro de la tendencia de la época, consistente en reunir en un libro, y a ser posible en un solo volumen, los conocimientos necesarios para aquellas personas que quisieran estudiar y dominar las principales reglas de navegación. Signo evidente de la intención didáctica del autor puede ser considerada la presentación de las lecciones en dos tipos de letra. La ordinaria (redonda) señala los conocimientos básicos de todo navegante y la cursiva recoge todo aquello que sirve para ilustrar y perfeccionar lo anterior. El libro de Macarte nació del desarrollo del método de estudios de los Pilotos de la Real Armada aparecido en 1790, con la intención de que fuese usado en las Academias de Guardias Marinas y otros centros de enseñanzas náuticas.

EXPLICACIÓN DE VARIOS MÉTODOS GRÁFICOS PARA CORREGIR LAS DISTANCIAS LUNARES CON LA APROXIMACIÓN NECESARIA PARA DETERMINAR LAS LONGITUDES EN LA MAR, Y PARA RESOLVER OTROS PROBLEMAS INTERESANTES DE LA ASTRONOMÍA NÁUTICA

Gabriel Ciscar y Ciscar
Madrid, Imprenta Real, 1803.

Sobrino de Gregorio Mayáns y Ciscar, Gabriel Ciscar interrumpió sus estudios de Leyes para ingresar en la Academia de Guardias Marinas, en la que fue profesor de navegación y matemáticas, y director desde 1788. Durante algún tiempo se dedicó a la reimpresión del *Examen marítimo* de Jorge Juan, obra que enriqueció considerablemente. Con motivo de la invasión francesa de 1808 llegó a ocupar importantes cargos de responsabilidad política y militar. A la vuelta de Fernando VII fue encarcelado y desterrado de Madrid. Volvió a la capital durante el Trienio Constitucional y, restablecido el absolutismo, fue condenado a muerte, por lo que tuvo que huir a Gibraltar.

Dice Ciscar en la «Introducción» de este libro:

> Las agitaciones de la nave ponen a algunos sugetos casi criados en la mar, en una disposición más o menos próxima al mareo, que inspira un tedio y aversión inconcebible a los cálculos prolixos que fatigan la imaginación y calientan la cabeza.

Cuando un dato, o el resultado de un problema náutico, no aparece en una tabla, se hace necesario calcular la corrección mediante los datos anterior y posterior. Para estas complicadas operaciones, sobre todo para quienes no sean diestros calculadores, Ciscar propone en este libro el empleo de una serie de métodos gráficos y escalas que facilitan bastante la tarea engorrosa de calcular la posición de un barco en la mar.

TABLAS LINEALES PARA RESOLVER LOS PROBLEMAS DEL PILOTAGE ASTRONÓMICO CON EXACTITUD Y FACILIDAD

José de Luyando (1773-1835)
Madrid (s.i.), 1803.

José de Luyando fue oficial de la Marina española desde 1790. Después de navegar durante más de doce años por aguas de Europa y América, pasó destinado en 1805 a la Dirección de Hidrografía. En 1810 ascendió a capitán de fragata y fue nombrado Secretario del Consejo de Estado. Poco después, en 1813, ocupó el cargo de ministro. Al regresar Fernando VII fue enviado a Marruecos como cónsul, hasta que volvió a ocuparse de la cartera de Estado en 1823. Además de las tablas que comentamos en esta ocasión, Luyando publicó otros trabajos relacionados con la astronomía y la navegación, como el *Método para hallar la latitud por alturas tomadas fuera del meridiano*, incluido en el *Almanaque Náutico para 1807*, y la *Memoria en que se manifiestan las operaciones practicadas para levantar la carta del Estrecho de Gibraltar* (Madrid, 1826).

Estas tablas, junto con otras también preparadas por el mismo autor, tituladas *Tablas lineales para reducir la distancia aparente a verdadera* (Madrid, 1806), pueden ser inscritas en ese grupo de colecciones de tablas náuticas características de la transición entre los siglos XVIII y XIX. Con ellas se pretendía facilitar a los navegantes la realización de una serie de cálculos y problemas necesarios para la aplicación de las técnicas de navegación astronómica.

TRATADO DE PILOTAGE

Gabriel Ciscar y Ciscar (1760-1829)
Madrid, Imprenta Real, 1803.

Este *Tratado de pilotage* forma parte del *Curso de Estudios Elementales de Marina*, que fue escrito por Gabriel Ciscar a principios del siglo XIX. Después de ser publicados por primera vez en 1803, los cuatro volúmenes del Curso de Ciscar fueron objeto de numerosas reediciones a lo largo de todo el siglo XIX. La intención del autor al presentar este trabajo fue la de facilitar a los oficiales de la Armada la adquisi-

ción de conocimientos esenciales sobre cada uno de los cuatro temas en que dividió su obra: aritmética, geometría, cosmografía y pilotaje.

El tomo dedicado a analizar las cuestiones relacionadas con la navegación, que es el que nos ocupa, fue el cuarto volumen de la colección, ya que el autor consideró que los lectores de la obra debían poseer una buena base de matemáticas y astronomía, antes de pasar al estudio de la navegación. En líneas generales, puede decirse que el *Tratado de pilotage* fue redactado por Gabriel Ciscar con la intención de exponer los nuevos métodos de navegación astronómica, de simplificar los ya conocidos en el siglo XVIII y de modificar algunas reglas, ante la evidencia de que los progresos de las ciencias físicas y matemáticas, y de sus aplicaciones a la navegación, habían hecho superar el *Compendio de navegación* escrito por Jorge Juan para la enseñanza de los Guardias Marinas (Madrid, 1757).

Memorias sobre las observaciones astronómicas, hechas por los navegantes españoles en distintos lugares del globo

José de Espinosa y Tello
Madrid, Imprenta Real, 1809.

Espinosa y Tello ingresó en la Marina en 1778. Después de tomar parte en las acciones bélicas de la guerra contra Inglaterra, sus conocimientos astronómicos le llevaron en 1783 al Real Observatorio de Cádiz. Como ayudante de Vicente Tofiño, trabajó en el levantamiento de las cartas de las costas españolas. Cuando procedía a ultimar los trabajos del *Atlas Marítimo*, fue destinado a la expedición de Alejandro Malaspina, con la misión de escribir la crónica del viaje. Después de realizar importantes trabajos en la expedición, tuvo que regresar a Europa por motivos de salud. En 1796 fue nombrado jefe de la Dirección de Hidrografía, cargo que tendría que abandonar a causa de la invasión francesa.

Precisamente durante los años que estuvo al frente de la Dirección de Hidrografía, Espinosa y Tello procedió a ordenar en el libro que comentamos una gran cantidad de trabajos astronómicos realizados en todo el mundo por marinos españoles. De esta forma, publicó las observaciones de latitud y longitud que habían sido utilizadas para confeccionar las cartas de ese establecimiento entre 1797 y 1809. El traba-

jo de Espinosa se compone de cuatro memorias, que reúnen las distintas observaciones por zonas geográficas, a las que sirve de introducción el *Discurso sobre los progresos y estado actual de la hidrografía en España* de Luis M.ª de Salazar.

Traducción de la explicación, problemas y exemplos de la segunda edición de las tablas náuticas de don José de Mendoza y Ríos

Antonio Martínez y Tacón
San Fernando, Imp. Real Compañía de Guardias Marinas, 1815.

Comienza este libro con la traducción de la explicación de la edición inglesa de las tablas náuticas de Mendoza y Ríos (Londres, 1809). Ello le sirve al autor para hacer la introducción de lo que él mismo llama «una memoria original sobre la práctica de las observaciones en la mar, y sobre varios problemas interesantes del pilotage astronómico». El libro de Antonio Martínez Tacón, tiene un marcado carácter didáctico, de ahí que todos los capítulos vayan acompañados por una serie de problemas, en los que se explica de una forma práctica la aplicación de las teorías anunciadas con anterioridad.

Elementos de Astronomía náutica, escritos para utilidad de los que se dedican al estudio de la navegación científica

José Agustín Canellas y Farreras
Barcelona, Imp. de Agustín Roca, 1816.

José A. Canellas estudió gramática y retórica en Vich, filosofía en el Seminario Tridentino de Barcelona y náutica en la Escuela de Náutica de esa misma ciudad. En 1803 ingresó en la Real Academia de Ciencias Naturales y Artes de Barcelona y, poco después, fue designado para auxiliar al francés Méchain en los trabajos geodésicos que éste realizaba en Cataluña. En 1806 fue nombrado director de la escuela Náutica de Barcelona.

Agustín Canellas se muestra totalmente partidario de que los pilotos y los navegantes cuenten con una formación completa en lo que se refiere a la navegación astronómica, evitándose con ello la prolife-

ración de responsables de barcos que sin formación alguna, ponían en peligro vidas y bienes ajenos. La primera parte de la obra de este autor catalán, que está estructurada en artículos, expone y explica los principios teóricos de la astronomía náutica, mientras que la segunda trata de la aplicación de estos principios y de la ejecución de observaciones y cálculos astronómicos relacionados con la navegación.

Otras obras publicadas sobre este tema

De todas formas, a pesar de la crisis manifiesta que atravesaban en nuestro país los estudios relacionados con las disciplinas científicas y técnicas, siguieron imprimiéndose algunos trabajos. Entre las obras publicadas entre 1800 y 1850 podrían mencionarse, además de las que ya han sido comentadas y de los trabajos publicados en el *Almanaque Náutico*, las siguientes:

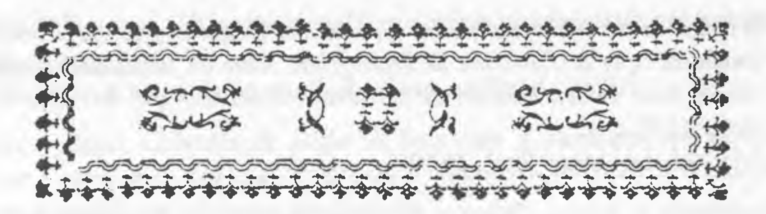
M. Fernández de Navarrete, *Discurso histórico sobre los progresos que ha tenido en España el arte de navegar.*
Madrid, Imprenta Real, 1802.

J. de Espinosa y Tello, *Extracto de las observaciones astronómicas que han servido de fundamentos a las cartas de la costa Noroeste de América.*
Madrid, Imprenta Real, 1802.

G. Ciscar y Ciscar, *Curso de estudios elementales de Marina.*
Madrid, Imprenta Real, 1803.

J. de Mendoza y Ríos, *A complete collection of tables for navigation and nautical astronomy with simple, concise and accurate methods, for all the calculation useful at sea; particulary for deducing the longitude from lunar distances, and the latitude from two altitudes of the sun and the interval of time between the observations.*
Londres, T. Bensley, 1805, 1809.

J. Rubio y Nadal, *Hipóteses ideada por el presbítero D. José Rubio y Nadal, cura párroco de Vilanova de Prades, con la que se descubre la verdadera causa de la declinación y variación de la aguja de marear.*
Tarragona, Viuda de Canals, 1807.



EXAMEN MARITIMO
THEORICO PRACTICO,
ó
TRATADO DE MECHANICA,
aplicado á la
CONSTRUCCION, CONOCIMIENTO;
y manejo de los Navíos, y demas Embarcaciones.

LIBRO PRIMERO.

DE MECHANICA.

CAPITULO PRIMERO.

De las Definiciones, Axiomas, y principios del movimiento.

DEFINICION I.

L*ugar de un cuerpo* es el sitio, ó espacio que ocupa. Todos tenemos una idea clara, distinta y simple de él, y no puede explicarse mejor por voces: qualesquiera que se empleen en definirle, parece que confunden mas su inteligencia. Se divide el lugar en *absoluto*, y *relativo*. ....

Tom. I. A DE-

Figura 24. Página del *Examen marítimo theórico práctico*, de Jorge Juan (Madrid, 1771).

M. Fernández de Navarrete, *Idea General del Discurso y de las Memorias publicadas por la Dirección de Hidrografía sobre los fundamentos que ha tenido para la construcción de las cartas de marear que ha dado a luz desde 1797.*
Madrid, Imprenta Real, 1810.

F. Faquineto y Arbos, *Colección de tablas auxiliares a la navegación para uso de los alumnos de la Escuela Náutica del Consulado de Mallorca. Tabla de declinaciones del Sol al paso por el meridiano de Cádiz para el primer cuatrienio del siglo* XIX.
Palma de Mallorca, Imp. M. Domingo, 1813.

Á. Laborde y Navarro, *Tratado elemental de trigonometría esférica y geometría astronómica.*
Madrid, 1822.

J. Sánchez Cerquero, *Reflexiones sobre el método de hallar la latitud en la mar por medio de dos alturas de Sol observadas fuera del meridiano.*
Madrid, Imprenta Real, 1823.

J. de Luyando, *Memoria en que se manifiestan las operaciones practicadas para levantar fundamentalmente la carta del Estrecho de Gibraltar.*
Madrid, Imprenta Real, 1826.

P. J. Rodríguez, *Elements of spherical trigonometry, designed as an introduction to the study of nautical astronomy.*
Nueva York, impreso por el autor, 1829.

—«Varias noticias curiosas sobre navegación. Observaciones acerca de la aguja náutica o de marear», *Estado General de la Real Armada*, 1831, Ap, III.

M. de Castillo y Castro, *Sumario de trigonometría esférica para uso de los principiantes en la carrera de la navegación.*
Madrid, Imp. M. de Burgos, 1834.

J. M. de Montalvo, *Apuntes de pilotaje de altura.*
Santander, 1834.

F. de Paula Farracha, *Colección de varias tablas auxiliares para los usos de la astronomía náutica.*
Barcelona, Imp. de José Torner, 1834.

R. Vila y Figueras, *Colección de tablas para varios usos de la navegación y de la geografía.*
Barcelona, Imp. de la viuda de Antonio Brusi, 1836.

J. Ruiz y Ruiz, *Colección de tablas de longitudes y auxiliares astronómicas para calcular la longitud por distancias lunares y por el método más breve y sencillo que se conoce hasta el día.*
Barcelona, Imp. de la viuda de Antonio Brusi, 1838.

M. Posse y Bermúdez, «De las mareas», *La España Marítima,* II (1839).

J. Sánchez Cerquero, «Memoria sobre las alteraciones que sufre a bordo la aguja magnética, y sobre los medios y necesidad de observarlas y llevarlas en cuenta», *La España Marítima,* II (1839).

A. Doral y Anuncibay, «Problemas náuticos. Modo de conocer la situación de la nave a la vista de tierra por medio de una operación gráfica de fácil ejecución», *La España Marítima,* II (1839).

F. Garrido; Antonio Pujazón, *Tablas de las 32 ecuaciones de la longitud lunar de Burckhardt, reformadas para su más fácil uso.*
San Fernando, Observatorio, 1840.

J. R. Bages, *Tratado práctico de astronomía náutica y pilotaje.*
Habana, Imp. de Barcino, 1842.

E. Calbet, *Tablas logarítmicas de números naturales, hiperbólicos y los de las líneas trigonométricas, senos, cosenos, tangentes y cotangentes, seguidas de un apéndice que contiene varias tablas auxiliares para los usos de la navegación.*
Barcelona, Imp. de Manuel Texero, 1842.

M. Fernández de Navarrete, *Disertación sobre historia de la náutica y de las ciencias matemáticas que han contribuido a sus progresos entre los españoles.*
Madrid, Imp. de la viuda de Calero, 1846.

J. Aguado y Enrique, *Observaciones sobre la fijación espontánea de la brújula.*
Málaga, Imp. de Herrero, 1847.

E. Calbet, *Colección de tablas para varios usos de la navegación, incluyendo como más esenciales las que pertenecen a la deducción de las distancias*

lunares verdaderas publicadas en Londres en 1809 por D. José Mendoza y Ríos.
Barcelona, Imp. de Manuel Texero, 1848.

A. Doral y Anuncibay, *Memoria descriptiva del círculo de marcar y sus aplicaciones.*
Madrid, Imp. y Libr. de Román Matute, 1848.

R. Aragón y Rodríguez, *Ensayos náuticos sobre cosmografía y navegación.*
Habana, 1849.

EPÍLOGO

El fenómeno conocido como revolución científica, cuyo desarrollo tuvo lugar en la Europa de los siglos XVI y XVII, además de impulsar un progreso científico sin precedentes cercanos en la historia de la Humanidad, influyó de una forma positiva en el avance de las técnicas. Este cambio de actitud puede ser situado en la base de una gran parte de los avances científicos, que pudieron utilizar las técnicas como medio para la aplicación práctica de las nuevas teorías.

La ciencia que más incidió en el perfeccionamiento de las técnicas de navegación en los albores de la Edad Moderna fue, sin lugar a dudas, la astronomía. Los grandes avances experimentados por esta ciencia, verdadero motor de todo el proceso de la revolución científica, se reflejaron rápidamente en las disciplinas donde las mejoras de la astronomía tenían una aplicación inmediata. Éste fue el caso de la astrología, el calendario o la navegación. Los métodos observacionales ideados para fijar una determinada posición geográfica fueron trasladados con prontitud al cálculo de la situación de un barco en alta mar. Los navegantes se vieron, entonces, en la necesidad de adaptar los métodos de los astrónomos, simplificándolos para permitir su utilización por personas que aún poseían una escasa formación científica. Esta adaptación de los métodos astronómicos no se da de un golpe, pues eran muchos y variados los factores que podían incidir en su aceptación por los navegantes.

El uso de la observación de las estrellas para determinar la latitud en la que se encontraba una nave fue llevado a cabo de forma cotidiana por los marinos portugueses de los siglos XIV y XV. Sus viajes hacia el Sur por la costa africana les llevaron a perfeccionar un método que,

por su sencillez, permitía a cualquier piloto, con unos conocimientos básicos de cosmografía, calcular de una forma aproximada la situación del barco en la dirección norte-sur. Con el cálculo de la longitud, la otra coordenada que define la posición geográfica de un punto determinado, no ocurrió lo mismo, ya que los métodos empleados por los astrónomos resultaron de difícil, por no decir imposible, aplicación en alta mar, donde factores como las condiciones atmosféricas, la inestabilidad de la nave y la imprecisión del escaso instrumental impedían la utilización de los mencionados métodos.

En la evolución de los instrumentos de observación empleados por los navegantes se pueden distinguir dos grandes períodos, separados por el comienzo de la utilización del anteojo en las observaciones astronómicas. La primera de estas etapas estuvo caracterizada por el uso del astrolabio náutico, el cuadrante y la ballestilla, instrumentos con los que se podía determinar con una cierta aproximación la altura de un astro sobre el horizonte y, por lo tanto deducir la latitud del lugar de observación. La introducción del anteojo en las observaciones astronómicas, iniciada por Galileo a principios del siglo XVII, dio lugar en la siguiente centuria al desarrollo de una nueva generación de instrumentos náuticos, diseñados a partir del octante de Haeley, cuyo principal exponente fue el sextante, que permitió introducir importantes innovaciones en las técnicas de navegación. El aumento de la precisión obtenida con estos nuevos instrumentos y el desarrollo de las técnicas relojeras, que construyó los primeros cronómetros marinos fiables, dieron un importante vuelco a la seguridad de las navegaciones oceánicas. Se pudieron aplicar entonces unos métodos para la determinación de la longitud, como el de las distancias lunares y el de los cronómetros marinos, que a pesar de haber sido propuestos en el siglo XVI no habían podido ser puestos en práctica por falta de instrumentos precisos.

El siglo XVIII registró, gracias a estos avances y al fortalecimiento de los estados ilustrados, un importante auge naval, protagonizado por naciones como Inglaterra, Francia, Países Bajos y España, que volvía a contar como potencia marítima después del período de estancamiento que caracterizó a las cuestiones náuticas en nuestro siglo XVII. El desarrollo de las técnicas de precisión incidió directamente en la mejora de la construcción de instrumentos y, gracias a ello, se dio impulso al fomento de las expediciones dirigidas a concluir definitivamente la exploración del planeta que se había iniciado en el siglo XVI. Las nuevas

técnicas instrumentales y los nuevos métodos astronómicos para el cálculo de la posición geográfica estuvieron en la base de la generalización de la llamada navegación astronómica, que permitió a los navegantes realizar largas singladuras sin perder el rumbo y conociendo perfectamente su situación, por medio de una cartografía cada vez más precisa.

La evolución de la náutica en la España de la Edad Moderna estuvo ligada permanentemente a la situación política y económica del Estado. Es relativamente fácil comprobar la existencia de una estrecha relación entre las épocas de esplendor del Estado y la pujanza de los tratadistas sobre náutica. La organización estatal moderna impulsada por los Reyes Católicos coincidió con la etapa expansiva de los grandes viajes de descubrimiento y exploración del nuevo continente y con la gran aportación española al desarrollo de las técnicas de navegación basadas en la observación de los astros.

Las relaciones con Portugal tienen mucho que ver en esta coyuntura. Los marinos portugueses, cuya base de partida para sus viajes de exploración por la costa africana estuvo situada en el Algarve, utilizaron ya alguna de estas técnicas en los siglos XIV y XVI, algo a lo que, sin lugar a dudas, no fueron ajenos los navegantes andaluces.

Durante la segunda mitad del siglo XVI comenzó a fraguarse la profunda crisis que terminaría afectando a España durante todo el siglo XVII. Las estructuras del Estado quedaron anquilosadas y el progreso de la ciencia y de la técnica entró en un largo período de estancamiento. España quedó descolgada de la evolución política, intelectual y científica europea. Los grandes tratados de náutica de Pedro de Medina y Martín Cortés fueron sustituidos por pequeños manuales que no aportaban ninguna novedad importante a los conocimientos náuticos. Mientras tanto, los británicos, partiendo de las aportaciones españolas de la anterior centuria, comenzaban a poner las bases del importante desarrollo de las técnicas de navegación que protagonizaron el siglo XVIII.

El cambio de dinastía y la nueva situación política y económica auspiciaron importantes cambios en la España del siglo de las luces, cambios que rápidamente dejaron notar su influjo en las cuestiones relacionadas con el control marítimo y, por lo tanto, con la navegación. La combinación entre la nueva mentalidad ilustrada y la expansión económica hizo surgir una tendencia de progreso generalizado en to-

dos los aspectos de la sociedad. Se produjo, entonces, una recuperación del poder del Estado, favorecida por la nueva monarquía borbónica. La importancia otorgada por los nuevos gobernantes al control de los dominios ultramarinos, trajo como consecuencia la aplicación de una política oficial de fomento del desarrollo naval, basado en la reorganización de la Armada y en la renovación de los estudios náuticos. Este proceso, iniciado durante el primer tercio del XVIII, desembocaría en un nuevo período de auge para las aportaciones españolas a la ciencia y a la navegación. La ciencia del siglo XVIII, partidaria de la comprobación directa de los fenómenos naturales y de los viajes científicos dirigidos a ampliar los conocimientos geográficos, hidrográficos y naturales de todos los lugares del planeta, tuvo entre los marinos alguno de sus más importantes protagonistas. España, cuyos gobernantes se disponían a fortalecer las comunicaciones con ultramar y aumentar el conocimiento de sus recursos, no podía quedar atrás en este aspecto, de ahí el gran número de trabajos dirigidos a la mejora de la navegación oceánica y la política oficial favorable a la introducción de los métodos astronómicos en los usos de los navegantes. Entre los personajes que más contribuyeron al progreso de la ciencia náutica en el período al que nos estamos refiriendo habría que citar, evidentemente, a Jorge Juan, integrante de la expedición al virreinato del Perú, fundador del Real Observatorio de Cádiz y autor del conocido *Examen marítimo theórico práctico*, a José de Mazarredo, introductor en España del método de las distancias lunares para la determinación de la longitud, y a José de Mendoza y Ríos, autor de un magnífico tratado de navegación y de unas tablas náuticas usadas por los navegantes durante casi todo el siglo XIX. Por otro lado, la política oficial de apoyo a la introducción de la navegación astronómica tuvo alguno de sus hitos más destacables en la fundación de la Academia de Guardias Marinas y del Real Observatorio de Cádiz, y en el apoyo a la formación de los oficiales científicos de Marina, quienes, mediante un curso llamado de estudios sublimes, debían quedar en buena situación para realizar una serie de trabajos científicos de envergadura, especialmente los levantamientos cartográficos de las costas españolas y americanas.

Los primeros años del siglo XIX continuaron registrando todavía un ambiente favorable al desarrollo científico y al protagonismo de los marinos en éste. Sin embargo, como ya se dijo en su momento, no hay que olvidar que lo que se estaba produciendo no era otra cosa que

la madurez de las iniciativas de apoyo a la ciencia que se habían tomado durante el reinado de Carlos III. A pesar de la evidencia de la crisis de las estructuras políticas de la monarquía ilustrada, característica del período de Carlos IV, la interesante aportación española a diversas ciencias y técnicas que en la última parte del XVIII se extendió hasta el comienzo de la segunda década del nuevo siglo.

La batalla de Trafalgar y la Guerra de la Independencia marcaron el hundimiento de la Marina que, a partir de entonces, quedó sumida en una profunda crisis de la que tardaría en salir casi medio siglo. La desaparición de gran parte de sus buques y dependencias, incluidas las Academias de Guardias Marinas, no afectó, sin embargo, al Observatorio de la Isla de León que terminaría convirtiéndose en una de las pocas instituciones científicas de la España de la primera mitad del siglo XIX. Durante muchos años, el Almanaque náutico elaborado por esta institución naval actuó como único marco posible para la publicación de trabajos especializados relacionados con la navegación y sus técnicas. Se puede decir, por lo tanto, que el Almanaque náutico fue utilizado para divulgar la actividad de los oficiales científicos ilustrados que, después de haber sido formados en la última parte del siglo XVIII, se encontraron con un panorama nada favorable al desarrollo de los trabajos científicos.

la madurez de las iniciativas de apoyo a la ciencia que se habían iniciado durante el reinado de Carlos III. A pesar de la evidencia de la crisis de las estructuras políticas de la monarquía ilustrada, característica del período de Carlos IV, la intervención española en diversos campos científicos y técnicos que en la última parte de 1790 se extendió hasta el comienzo de la segunda década del nuevo siglo.

La batalla de Trafalgar y la Guerra de la Independencia marcaron el hundimiento de la Marina que, a partir de entonces, quedó sumida en una profunda crisis de la que tardaría en salir casi medio siglo. La desaparición de gran parte de sus buques y dependencias, incluidas las academias de Guardias Marinas, no afectó, sin embargo, al Observatorio de la Isla de León que, atrincherado y convirtiéndose en una de las pocas instituciones científicas de la España de la primera mitad del siglo XIX. Durante muchos años, el *Almanaque Náutico*, elaborado por esta institución, siguió siendo tanto como fuera posible para la publicación de trabajos especializados relacionados con la navegación y sus técnicas. Se puede decir, por lo tanto, que el *Almanaque náutico* fue utilizado para divulgar la actividad de los oficiales científicos ilustrados que, después de haber sido formados en la última parte del siglo XVIII, se encontraron con un panorama nada favorable al desarrollo de los trabajos científicos.

APÉNDICES



RELACIÓN ALFABÉTICA DE OBRAS COMENTADAS

Arte de la navegación (Valencia, 1602).
Arte de navegar... (Valladolid, 1545).
Arte de navegar (Madrid, 1673).
Arte para fabricar, fortificar, y apareiar naos... (Sevilla, 1611).
Breve compendio de la sphera y de la arte de navegar (Sevilla, 1551).
Colección completa de tablas... (Madrid, 1850).
Colección de tablas para varios usos de la navegación (Madrid, 1800).
Compendio de la arte de navegar (Sevilla, 1582).
Compendio de navegación... (Sevilla, 1717).
Compendio de navegación (Cádiz, 1757).
Complete collection of tables for navigation..., A (Londres, 1801).
Conversaciones de Ulloa con sus tres hijos... (Madrid, 1795).
Examen marítimo theórico práctico... (Madrid, 1771).
Explicación de varios métodos gráficos... (Madrid, 1803).
Hydrografía... (Bilbao, 1585).
Imagen del mundo sobre la esfera... (Alcalá, 1626).
Instrucción náuthica... (México, 1587).
Itinerario de la navegación de los mares... (Manuscrito).
Lecciones de navegación (Isla de León, 1790).
Lecciones de navegación... (Madrid, 1801).
Lecciones náuticas... (Bilbao, 1756).
Libro de las longitudines... (Manuscrito).
Luz de navegantes... (Manuscrito).
Marinero instruido en el arte de la navegación..., EL (1765).
Memoria sobre algunos métodos nuevos... (Madrid, 1795).
Memoria sobre las observaciones de latitud... (Madrid, 1796).
Memoria sobre los métodos de hallar la longitud... (Madrid, 1798).
Memorias sobre las observaciones astronómicas... (Madrid, 1809).

Mr. de Mendoza principal tables... (Brest, 1842).
Navegación especulativa y práctica (Lisboa, 1628).
Norte de la navegación... (Sevilla, 1692).
Práctica de la navegación (Madrid, 1732).
Quatri partitu en cosmographía práctica... (Manuscrito).
Recherches sur les solutions des principaux... (Londres, 1797).
Regimiento de navegación (Madrid, 1606).
Suma de geographía... (Sevilla, 1519).
Tablas lineales para resolver los problemas... (Madrid, 1803).
Theatro naval hydrográphico... (Madrid, 1688).
Traducción de la explicación, problemas... (San Fernando, 1815).
Tratado de cosmografía y náutica (Cádiz, 1745).
Tratado de pilotage (Madrid, 1803).
Tratado de navegación (Madrid, 1787).
Tratado de navegación theórica y práctica (Sevilla, 1749).
Tratado de trigonometría náutica (Sevilla, 1742).
Tratado de la cosmographía, y náutica (Cádiz, 1745).
Tratado del arte de navegar (Manuscrito).
Tratado del esphera del arte de navegar (Sevilla, 1535).
Trigonometría aplicada a la navegación (Sevilla, 1718).
Vocabulario marítimo (1728).

GLOSARIO DE TÉRMINOS ASTRONÓMICOS Y NÁUTICOS

Aberración cromática

Distorsión del color producida por las lentes.

Aberración esférica

Distorsión de la imagen del telescopio causada por la variación de la curvatura de la lente o del espejo.

Alidada

Regla con pínulas en los extremos de la que van provistos algunos instrumentos astronómicos y náuticos.

Altura

En astronomía se conoce como altura a la distancia vertical de un cuerpo celeste contada desde un plano horizontal que pasa por el observador. Se mide como arco de un círculo vertical de la esfera desde el horizonte celeste. Altura del polo celeste: Arco de vertical comprendido entre el polo celeste (estrella Polar) y el horizonte, igual a la latitud geográfica del lugar de observación. Altura meridiana: Altura de un astro medida al hallarse en el meridiano del observador.

Ascensión recta

Coordenada astronómica. Arco de Ecuador medido desde el punto de Aries hasta el pie del círculo horario del astro. Se mide sobre el Ecuador de 0 a 24 horas, con origen en el punto Aries y en el sentido directo del observador.

Astrología

Pseudociencia que vincula el destino humano a las posiciones relativas de los cuerpos celestes.

Carta

Representación de la Tierra o de parte de ella sobre un plano (mapa). Se aplica generalmente esta denominación a las utilizadas en la navegación, conocidas como cartas hidrográficas, náuticas, marinas o de navegación.

Cenit

Punto de la esfera celeste situado en la vertical y encima del observador. Dicho de otra forma, el cenit es la intersección de la vertical del observador con la esfera celeste por la parte alta del mismo. Es lo contrario al nadir.

Círculo de reflexión

Instrumento compuesto por un círculo graduado y dos alidadas con un espejo cada una, que sirve para medir ángulos de cualquier plano.

Cronología

Ciencia que estudia el cómputo de los tiempos.

Cronómetro marino

Reloj de gran precisión que se lleva a bordo de los buques para determinar en cualquier momento la hora del primer meridiano. Los cronómetros fueron fundamentales para obtener el valor de la longitud por observaciones astronómicas.

Cruz del Sur

La más famosa de las constelaciones del cielo austral. La disposición de sus estrellas, que apunta aproximadamente al Polo Sur Celeste, resultó muy útil en las navegaciones por el hemisferio austral.

Declinación

Coordenada astronómica equivalente a la latitud terrestre. Distancia angular que forma la dirección de un astro con el plano del Ecuador celeste.

Se mide sobre el círculo horario del astro, de 0 a 90° con origen en el Ecuador y positivo hacia el Norte.

Declinación magnética

Se conoce como declinación magnética o variación magnética al ángulo existente entre el meridiano magnético, en el cual se orienta la aguja imantada suspendida libremente en un lugar desprovisto de influencias magnéticas, y la verdadera línea Norte-Sur (meridiano).

Derrota

Navegación o ruta que debe hacerse o que se ha hecho, teniendo que seguir para ello uno o varios rumbos. Se llama también derrota a la línea trazada en la carta náutica para señalar el camino a seguir para ir de un punto a otro.

Derrotero

Libro que contiene una descripción muy detallada de una costa con frecuentes vistas, así como los vientos, corrientes, enfilaciones, peligros y cuantos datos puedan contribuir a facilitar la navegación.

Distancia cenital

Distancia angular desde el cenit. Arco de un círculo vertical entre el cenit y un punto de la esfera celeste, medido desde el cenit en un ángulo de 90° para cuerpos que estén encima del horizonte. El complemento de este ángulo es la altura.

Distancias lunares

Se llama así a las distancias angulares tomadas entre la Luna y el Sol, o entre la Luna y cualquier estrella o planeta, utilizadas para el cálculo de la latitud y, por tanto, de la situación del buque.

Eclíptica

Trayectoria aparente del Sol en torno a la esfera celeste.

Efemérides astronómicas

Posiciones de los astros para un momento determinado, calculadas con anticipación.

Esfera armilar

Antiguo instrumento astronómico constituido por un armazón de metal, madera o cartón, compuesto por anillos representativos de los principales círculos de la esfera celeste. Los aros fijos, meridiano y horizonte, están bien sujetos, y los móviles, aunque unidos a los otros, en libertad de seguir el movimiento diurno. En el centro de la esfera, un pequeño globo representa la Tierra, de acuerdo con las teorías de Ptolomeo. Aunque su origen parece ser chino, fue muy usado por los árabes y es descrito con gran detalle en los *Libros del saber de astronomía* de Alfonso X.

Estima

Cálculo del punto de situación de un buque, teniendo en cuenta los rumbos y las distancias navegadas. En la navegación de estima se considera que la Tierra es esférica y el buque sigue la línea loxodrómica, curva que forma ángulos iguales con todos los meridianos que atraviesa.

Estrella Polar

Estrella brillante de la constelación de la Osa Menor. Está situada a menos de un grado del Polo Norte Celeste, lo que da lugar a que su movimiento apenas pueda advertirse.

Estrellas fijas

Se conocía con este nombre a los astros de la esfera celeste que parecen guardar siempre la misma distancia entre sí. Son las verdaderas estrellas, pues esta definición no incluye otros cuerpos como planetas, asteroides, cometas y nebulosas. Actualmente no se utiliza esta denominación.

Fases

Cambio aparente en la forma de un planeta o de la Luna, debido a las diferentes áreas iluminadas por el Sol.

Instrumentos reflectores

Son aquellos que, para formar la imagen del astro, utilizan como objetivo un espejo. Los rayos de luz son recogidos por un espejo (parabólico o esférico) y reflejados a través del tubo del telescopio en dirección a un espejo secundario. Este último refleja a su vez los rayos convergentes hacia un foco situado fuera del tubo, donde la imagen es examinada por un

ocular. El tipo más corriente de reflector utilizado, el newtoniano, sigue el esquema que Newton ideó y fabricó por primera vez en 1672.

Instrumentos refractores

Se conoce como instrumentos refractores a aquellos que, para formar la imagen del astro, utilizan lentes ópticas en su objetivo. Tienen dos componentes ópticos: un objetivo en el frente y un ocular en la parte trasera. El objetivo se compone de un sistema de lentes convexas o convergentes que concentran los rayos luminosos en un foco, a fin de formar la imagen.

Latitud

Coordenada geográfica. Arco de meridiano entre el Ecuador y un punto determinado del globo terráqueo. Equivale a la altura del polo celeste sobre el horizonte y se mide de 0 a 90° Norte o Sur, según el hemisferio.

Longitud

Coordenada geográfica. Arco de Ecuador contado desde el primer meridiano (Greenwich) hasta el meridiano de un lugar determinado. Se cuenta de 0 a 180° hacia el Este (+) y hacia el Oeste (—).

Mecánica celeste

Ciencia que estudia los movimientos de los astros.

Micrómetro

Instrumento que sirve para medir cantidades lineales o sus valores correspondientes. Se utiliza para la lectura de las escalas en instrumentos astronómicos y náuticos.

Nova

Estrellas que aparecen de pronto, como una llamarada, y después van perdiendo su brillo hasta volver a su anterior magnitud o apagarse por completo.

Nutación

Movimiento cónico del eje de rotación de la Tierra.

Ocultaciones

En astronomía reciben el nombre de ocultaciones los eclipses de un cuerpo celeste por otro.

Paralaje

Distinto ángulo desde el cual puede verse un planeta o una estrella desde las diferentes posiciones de la órbita de la Tierra alrededor del Sol.

Pínula

Sistema de colimación empleado en algunos instrumentos náuticos, astronómicos y topográficos, compuesto por una abertura u orificio a través del cual se mira un hilo o retículo colocado a cierta distancia para dirigir visuales y que se hace coincidir con el objeto al que se dirige la visual.

Portulano

Colección de planos de puertos encuadernada, que suele recibir el nombre de la costa en que éstos estén comprendidos. Utilízase también para denominar a las cartas más antiguas (cartas de compás) que, pese a sus grandes errores, fueron las primeras cartas náuticas.

Precesión

Lento movimiento circular del eje de la Tierra en el espacio.

Retículo filar

Conjunto de hilos cruzados o paralelo que se ponen en el foco de ciertos instrumentos ópticos y que sirve para precisar la observación.

Tablas náuticas

Son las publicaciones destinadas a resolver o facilitar la resolución de los problemas más usuales de la navegación. Suelen estar preparadas para ganar rapidez y seguridad en los numerosos cálculos necesarios para despejar los problemas de la navegación.

Tránsito

Paso de una estrella a través del meridiano, o de cuerpos celestes menores frente a la cara de otro. Ejemplo de esta última definición pueden ser los tránsitos de Venus por delante del disco del Sol.

Triangulación

Proceso geodésico consistente en ligar por medio de triángulos los puntos notables de un territorio para levantar su plano.

BIOGRAFÍAS

Alfonso X de Castilla (1221-1284). Alfonso X de Castilla, llamado el Sabio, nació en plena Reconquista, lo que explica que, siendo aún Infante, iniciara sus tareas guerreras con la conquista del reino de Murcia. Alfonso X accedió al trono en 1252 y su reinado estuvo lleno de conflictos, tanto exteriores (Algarve portugués, Corona Imperial alemana) como interiores (sublevaciones nobiliarias). Durante su reinado, Alfonso X promovió numerosas traducciones del árabe al castellano y de éste al latín, por medio de la famosa Escuela de Traductores de Toledo, gracias a la cual se favoreció el contacto entre la tradición europea romano-germánica y la herencia cultural islámica y hebrea.

Felipe Bauzá y Cañas (1764-1834). Tras su participación en la expedición Malaspina, Felipe Bauzá se dedicó a los trabajos hidrográficos. En 1797 fue llamado a Madrid para organizar la Dirección de Hidrografía. Entre 1810 y 1822 estuvo a cargo de este establecimiento, contribuyendo directamente a la salvaguarda de los fondos de la institución en plena ocupación napoleónica. A pesar de la pésima situación de la Marina en los primeros años del siglo XIX, emprendió numerosos proyectos e iniciativas relacionados con la cartografía. Desgraciadamente, las circunstancias políticas le llevaron al exilio en 1823, después de haber sido diputado a Cortes en el régimen constitucional.

Tycho Brahe (1546-1601). Perteneciente a una familia de la nobleza danesa, mostró desde joven un gran interés por la astronomía. Contó con el mejor observatorio hasta entonces conocido (Uraniborg) y fue autor de numerosas y precisas observaciones astronómicas, a pesar de no poder contar todavía con el anteojo que unos años más tarde utilizaría Galileo. Aunque no aportó ninguna ley básica de la ciencia, pues no fue un teórico, Tycho

Brahe fue un destacado representante de la vanguardia científica de los últimos años del siglo XVI.

Cosme Damián Churruca y Elorza (1761-1805). Después de cursar estudios en humanidades en el Seminario de Burgos, ingresó en la Armada como guardiamarina en 1776. Entre 1778 y 1783 desempeñó diversos destinos hasta que orientó su carrera hacia los estudios de matemáticas y astronomía. Participó en la exploración del estrecho de Magallanes y en la expedición organizada para reconocer el seno mexicano. Sin embargo, pocos años más tarde, cuando más prometía su brillante carrera científica, perdió la vida en la batalla de Trafalgar.

Nicolás Copérnico (1473-1543). Nacido en la vieja ciudad hanseática de Thorn, realizó estudios en Italia entre 1496 y 1506. Desde 1512 ocupó una canonjía en Frauenburg. Durante los treinta años que permaneció en dicho lugar, sus actividades fueron muy diversas, dedicándose, entre otras cosas, a la medicina, las finanzas, la política y los asuntos eclesiásticos. Sin embargo, su principal y más conocida ocupación fue la astronomía y, más concretamente, la concepción de un nuevo sistema del mundo.

Don Enrique el navegante (1394-1460). El infante don Enrique fue el tercer hijo de Juan I de Portugal y Juana de Lancaster. Desde su participación en la conquista de Ceuta (1417) se mostró muy interesado en la exploración de las costas africanas y de las islas atlánticas. Obtuvo concesiones reales de los señoríos de Madeira, Azores y Cabo Verde, además de algunos derechos sobre la exploración de la costa africana, empresa a la que dedicó gran parte de su vida desde su residencia en Sagres (Algarve), pequeña ciudad portuguesa que de esta forma se convirtió en un foco de saberes náuticos.

Galileo Galilei (1564-1643). Galileo fue un personaje crucial en la formación de la ciencia moderna. Cortó definitivamente con la tradición e introdujo los conceptos que posibilitaron la nueva imagen mecánica del Universo desarrollada posteriormente por Newton. Vivió en la zona más culta de Italia (Pisa, Padua, Florencia), donde pronto adquirió fama como profesor de matemáticas. Aunque no alcanzó la genialidad innovadora y observacional de personajes como Copérnico, Brahe o Kepler, el uso del anteojo le llevó a defender la validez del sistema heliocéntrico, postura que le acarreó numerosos problemas a lo largo de su vida.

Edmund Halley (1656-1742). Conocido astrónomo inglés, famoso por el descubrimiento del cometa que lleva su nombre. Entre 1698 y 1700 efectuó numerosas observaciones magnéticas en África y América del Sur. Como

resultado, en 1701, publicó la primera carta conocida de líneas isógonas. Esta carta, referida al océano Atlántico fue completada poco después con otra de los oceános Índico y Pacífico. En 1719 fue nombrado director del Observatorio de Greenwich, dedicándose con ahínco, desde entonces, a la consecución del instrumental necesario para dicha institución.

John Harrison (1693-1774). Harrison simultaneó desde joven su oficio de carpintero con los estudios sobre mecánica y relojería. En 1726 inventó el péndulo compensador. En 1736 construyó un cronómetro marino, llamado *time keeper*, que dio muy buenos resultados en las pruebas a que fue sometido. Desde entonces trabajó para mejorar su cronómetro, que sería vital en la solución del problema de la determinación de la longitud en alta mar. Tras las pruebas definitivas (1761-1764), el cronómetro de Harrison fue reconocido como la mejor solución al mencionado problema. Fue autor de dos trabajos sobre su invento: *Description concerning such mechanism as will aford a nice or true mensuration of time* (1759) y *Principles of time keeper* (1767).

Johannes Kepler (1571-1630). Nacido en Weilderstadt (Würtemberg), estudió teología en la Universidad de Tübingen, donde se dedicó con interés al estudio de la astronomía. A pesar de sus iniciales intenciones de convertirse en pastor de la Iglesia, Kepler terminó siendo uno de los más relevantes astrónomos de su época. Su principal aportación a la ciencia moderna fue la realización de numerosas observaciones y las leyes conocidas con su nombre (leyes de Kepler), que sirvieron para dar paso a una nueva astronomía.

Isaac Newton (1642-1727). Isaac Newton puede ser considerado como el gran símbolo de la ciencia moderna. Sus trabajos se orientaron hacia diversas disciplinas científicas, aunque ha pasado a la historia por la formulación de la ley de la gravitación universal, publicada en su obra *Philosophiae naturalis principia mathematica* (1687). En esta obra Newton puso en orden los conceptos de la mecánica, definió aquellos de los que partía en sus teorías y puso las bases de lo que se entendería después como una ciencia definitivamente construida.

Julián Ortiz Canelas (1767-1825). Después de cursar estudios en la Academia de Guardias Marinas de Cádiz, fue destinado en 1783 a la especialización teórica y práctica en astronomía en el Real Observatorio de Cádiz. Tomó parte en los trabajos hidrográficos del levantamiento del *Atlas Marítimo de España*. En 1798 fue nombrado oficial fijo del Observatorio, que ese mismo año sería trasladado a la Isla de León. Poco tiempo después, tras un

período de interinidad, fue nombrado director del Observatorio, cargo que desempeñó hasta su muerte.

José Patiño y Rosales (1666-1736). Ministro de Felipe V desde 1726 hasta su muerte. Fue el primer Intendente General de Marina y puede ser considerado como uno de los pilares de la recuperación de la potencia naval española promovida por la nueva dinastía borbónica, durante la primera mitad del siglo XVIII. Partiendo de un poder naval casi inexistente organizó una nueva marina de guerra, impulsando la construcción de nuevos buques y la actividad de los arsenales.

Luis María Salazar (1758-1838). Tras una brillante carrera, iniciada en 1776, como oficial de la Armada, fue nombrado ministro del Almirantazgo en 1807. Durante el período de la guerra contra los franceses participó activamente en el Gobierno y ocupó los cargos de ministro de Hacienda y de Estado. Años más tarde tuvo que hacerse cargo del ministerio de Marina, cargo desde el que intentó recomponer una marina militar en profunda crisis.

José Sánchez Cerquero (siglo XVIII-1850). Sánchez Cerquero fue un astrónomo insigne y uno de los más importantes directores del Observatorio de San Fernando. Antes de ser destinado a esta institución de la Marina, cuya dirección ostentó entre 1825 y 1847, desempeñó el cargo de primer maestro de la Academia de Guardias Marinas de Cartagena. Fueron numerosos sus trabajos de investigación científica y sus publicaciones en forma de memorias en el Almanaque Náutico. Entre ellos cabría destacar sus estudios sobre el problema de la latitud y la deducción de nuevas fórmulas para el cálculo de la observación de los planetas y los eclipses.

Zenón Somodevilla, marqués de la Ensenada (1702-1781). Tras una rápida carrera dentro de la administración de la Marina, el marqués de la Ensenada fue nombrado en 1743 Secretario de Estado y del Despacho de Guerra, Marina, Indias y Hacienda, Superintendente General de rentas y administración del Real Erario y lugarteniente general del Almirantazgo. Desde tan elevados cargos promovió la reorganización de la Armada, fomentando la construcción de buques, la preparación de las nuevas ordenanzas y la formación científica de los oficiales de la Marina.

Vicente Tofiño de San Miguel (1732-1795). Vicente Tofiño, siguiendo los pasos de su padre, obtuvo en 1747 la plaza de cadete en el ejército. Estando destinado en Segovia, fue designado por Jorge Juan, tercer maestro de matemáticas de la Academia de Guardias Marinas de Cádiz. Entre 1781 y 1789 fue director de la mencionada Academia y se dedicó con interés a

las observaciones astronómicas en el Real Observatorio de Cádiz. A partir de 1783 trabajó en la gran empresa hidrográfica del levantamiento del *Atlas Marítimo de España,* cuyos trabajos dieron inicio a la cartografía moderna española.

Antonio Valdés y Bazán (1744-1816). Oficial de la Armada que llegó a desempeñar el cargo de Secretario de Estado y del Despacho Universal de Marina. Bajo su mandato se amplió el Arsenal de La Carraca y se aprobó el proyecto de la nueva población militar de San Carlos, que habría de levantarse en la Isla de León. Fue también partidario del fomento de los estudios de matemáticas entre los oficiales de la Armada y de la organización de expediciones científicas, como las de Antonio de Córdoba, Vicente Tofiño o Alejandro Malaspina.

Abraham Zacut (1452-1515). Abraham Zacut, de origen judío, fue profesor de matemáticas en Salamanca, donde fue protegido por el obispo Gonzalo de Vivero. Después trabajó en Gata (Cáceres) bajo el mecenazgo de Juan de Zúñiga y Pimentel, que le encargó la obra de astrología médica llamada *Tratado de las influencias del cielo.* En 1492 huyó a Portugal, donde consiguió el favor de Juan II, colaboró con Vasco de Gama y publicó por primera vez el *Almanach perpetuum* (Leiria, 1496). A fines de 1496, las persecuciones contra los judíos le obligaron a emigrar a Túnez y a Turquía.

BIBLIOGRAFÍA COMENTADA

Historia de las ciencias y de las técnicas

Nos ha parecido conveniente comenzar este capítulo de la bibliografía comentando las obras de interés relacionadas con la historia de la ciencia y de la técnica. Para las cuestiones relacionadas con los progresos de la técnica, hemos manejado el interesante trabajo de T. K. Derry y Trevor I. Williams titulado *Historia de la tecnología* (Madrid, 1986), en cuyo primer tomo *Desde la Antigüedad hasta 1750* se recogen algunas referencias a las técnicas de navegación en la transición de la Edad Media al Renacimiento.

La evolución histórica de la ciencia española puede estudiarse de forma bastante completa en una obra clásica, la *Historia de la ciencia española* de Juan Vernet (Madrid, 1975), que abarca todos los períodos históricos, y en las más recientes del profesor José M.ª López Piñero. Entre las obras de este último autor merece ser mencionada especialmente, en lo que se refiere a la historia general de la ciencia española: *La ciencia en la historia hispánica* (Barcelona, 1982), que nos presenta un breve pero interesante panorama sobre la evolución histórica de las ciencias y las técnicas españolas basado en las investigaciones más recientes. Sobre la ciencia española en el Renacimiento, pueden resultar muy útiles los trabajos de López Piñero titulados *Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII* (Barcelona, 1979) y *La introducción de la ciencia moderna en España* (Barcelona, 1969), esta última centrada en el estudio del movimiento renovador que caracterizó a la ciencia española a finales del siglo XVII. Cabría destacar también en este apartado el *Diccionario histórico de la ciencia moderna en España* de José M.ª López Piñero, Thomas F. Glick, Víctor Navarro Brotóns y Eugenio Portela Marco (Barcelona, 1983), recopilación alfabética en dos volúmenes de artículos sobre los personajes que más han destacado en la historia de las ciencias y de las técnicas en nuestro país, con datos

biográficos, comentarios sobre sus obras y bibliografía secundaria sobre cada uno de ellos.

La historia de la náutica en España

La historia de las ciencias náuticas en España ha sido tratada en una serie de obras tradicionales pertenecientes, en la mayor parte de los casos, a autores relacionados con la Marina. Martín Fernández de Navarrete fue el pionero en esta tradición. Entre sus numerosos trabajos relacionados con la historia de la Marina, podríamos destacar aquí el *Discurso histórico sobre los progresos que ha tenido en España el arte de navegar* (Madrid, 1802), la *Disertación sobre la historia de la náutica y de las ciencias matemáticas que han contribuido a sus progresos entre los españoles* (Madrid, 1846) y la *Biblioteca marítima española* (Madrid, 1851). Esta última, obra póstuma de Fernández de Navarrete, nos interesa especialmente, ya que se trata de una recopilación de datos biográficos y bibliográficos que puede ser considerada como un antecedente directo de los repertorios de referencia que se han elaborado más recientemente. El insigne marino e historiador recogió en esta obra los datos conocidos en su tiempo sobre todos los españoles que, a su entender, habían hecho alguna aportación interesante en el desarrollo de la náutica, lo que convirtió a la *Biblioteca marítima española* en una obra de indispensable consulta para cualquier investigador histórico que quiera trabajar en temas náuticos, astronómicos y matemáticos.

También puede ser considerado como bastante interesante, por su carácter de síntesis, el discurso leído por Francisco de Paula Márquez y Roco en el acto de ingreso en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Bajo el título de *Breve reseña de la historia de las ciencias náuticas en nuestra Península* (Madrid, 1875), el mencionado autor hizo un breve recorrido por los libros de náutica publicados por españoles y portugueses desde el comienzo de la Edad Moderna.

Otro autor de indispensable consulta en esta materia es el conocido historiador de la Marina española Cesáreo Fernández Duro, que destacó en la segunda parte del siglo XIX por sus dos grandes obras de historia naval, las *Disquisiciones náuticas* (Madrid, 1876-1881) y la *Armada española*, compuesta por once volúmenes en los que trata con detenimiento de la historia de la marina militar española.

A principios del siglo XX fue publicada la *Historia marítima militar de España* escrita por Adolfo Navarrete (Madrid, 1907) que, a pesar de no estar dedicada específicamente al asunto del progreso de las técnicas de navegación, recoge en cada uno de los capítulos que dedica a la historia de la Marina es-

pañola unos interesantes apartados sobre la evolución de la náutica y la importancia de las aportaciones españolas en esa disciplina.

Con el paso de los años se llegó a la publicación de los trabajos de dos importantes estudiosos de la historia naval y de las cuestiones relacionadas con el progreso de la náutica. Nos referimos, claro está, a Julio F. Guillén Tato y a Salvador García Francos. Ambos fueron autores de numerosos e interesantes trabajos, muchos de los cuales serán citados más adelante. En este apartado, en el que nos estamos refiriendo a las obras sobre historia general de la náutica y de las aportaciones españolas a la misma, debemos citar especialmente dos de estos trabajos. *La Historia del arte y ciencia de navegar* de Salvador García Francos (Madrid, 1947) nos presenta en dos volúmenes una historia de la navegación basada en el análisis de las técnicas y los instrumentos utilizados a lo largo de los siglos para determinar el rumbo, la distancia, la latitud y la longitud, además de dedicar una parte importante al estudio de la historia de la elaboración de las cartas marítimas. Julio F. Guillén, por su parte, reunió en los dos tomos de su *Historia marítima española* (Madrid, 1961) los conocimientos sobre la evolución de las técnicas de navegación que anteriormente había ido publicando en otros trabajos de carácter parcial.

Centrándonos algo más en el tema que ha sido objeto de nuestro trabajo, pasaremos a comentar a continuación las obras de más interés para el estudio del progreso de la náutica española en los distintos períodos históricos que hemos tratado.

Las navegaciones portuguesas

Sobre los orígenes de la aplicación de la astronomía a la navegación y las navegaciones de los marinos portugueses en el siglo XV, hemos consultado una serie de obras entre las que podríamos destacar el libro de J. Bensaude *L'astronomie nautique au Portugal a l'époque des grandes découvertes* (Berna, 1912), que trata sobre los conocimientos náuticos y geográficos de los portugueses en los siglos XIV y XV, prestando una especial atención al estudio del «Regimento do estrolabio e do quadrante» (1488). También hemos manejado, en relación con este tema, el artículo A. Teixeira da Mota «Le prince Henri de Portugal et le progrés de la cartographie marine», publicado en el volumen 39 (1962) de la *Revue Hidrographique Internationale*, y los trabajos de Rolando A. Laguarda Trías y de L. Pereira da Silva titulados, respectivamente, *Las más antiguas determinaciones de latitud en el Atlántico y el Índico* (Madrid, 1963) y *A astronomia de Os Lusíadas* (Lisboa, 1972).

La náutica en la España del siglo XVI

Para todo lo referente al siglo XVI han sido consultados los trabajos de Salvador García Francos «Cómo navegaban los descubridores», publicado en el volumen LXXXIV (1948) del *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*, y «La náutica en tiempos del Emperador», publicado en el volumen CLV (1958) de la *Revista General de Marina*. De Julio F. Guillén han sido utilizados el pequeño pero interesante trabajo *Europa aprendió a navegar en libros españoles* (Barcelona, 1943) y el artículo «Los libros de náutica en los años del Emperador», publicado también en el volumen CLV (1958) de la *Revista General de Marina*. Sobre los asuntos relacionados con la Casa de la Contratación ha sido imprescindible la obra de José Pulido Rubio titulada *El Piloto Mayor de la Casa de la Contratación de Sevilla* (Sevilla, 1950), en la que su autor estudia detenidamente la evolución de la estructura náutica de la institución sevillana. Por último, no habría que olvidar el interesante trabajo de J. M. Millás Vallicrosa «Náutica y cartografía en la España del siglo XVI», publicado en la obra *Nuevos estudios sobre historia de la ciencia española* (Madrid, 1987).

Algunas notas sobre el contexto histórico de los avances producidos en la náutica española del siglo XVI han sido extraídas del libro de Guillermo Céspedes del Castillo titulado *América hispánica* (1492-1898) (Barcelona, 1988) y del artículo de M. J. Rodríguez Salgado «Preparándose para zarpar: Pilotos, marineros y navegación en la Armada española de 1588», publicados en el número 3 (1989) de los *Cuadernos Monográficos del Instituto de Historia y Cultura Naval*.

No podemos terminar nuestras referencias a la bibliografía sobre el siglo XVI sin hacer referencia al libro del profesor José M.ª López Piñero sobre *El arte de navegar en la España del Renacimiento* (Barcelona, 1979). Esta obra nos presenta un detallado estudio sobre las aportaciones españolas a las técnicas de la navegación durante el período en que España estuvo al frente de las iniciativas de descubrimiento y exploración del planeta. López Piñero, siguiendo los pasos de autores como Martín Fernández de Navarrete o Julio F. Guillén, estudia en este libro la evolución de las ciencias náuticas a través de los tratados más importantes publicados en la España de la época, completando su trabajo con los datos procedentes de las más recientes investigaciones históricas sobre este tema.

La náutica en la España del siglo XVII

El siglo XVII, como se ha podido comprobar a lo largo de nuestro breve trabajo, se caracterizó por el estancamiento y el agotamiento de las iniciativas

españolas. Esta falta de aportaciones de interés al desarrollo de la náutica ha provocado, como consecuencia, una escasez de bibliografía sobre la náutica española en este período. Sólo cabría hacer mención, en este caso, al trabajo de Julio F. Guillén titulado «La náutica», publicado en los *Estudios sobre la ciencia española del siglo XVII* (Madrid, 1935) y los párrafos dedicados a las técnicas de navegación por el profesor López Piñero en su *Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII.* Sobre el tema de la solución al problema de la determinación de la longitud, y más concretamente sobre lo relacionado con el concurso convocado por la Corona española, se han extraído interesantes datos del extenso trabajo de Martín Fernández de Navarrete, recopilado y editado por Eustaquio Fernández de Navarrete, titulado Memoria sobre las tentativas hechas y premios ofrecidos al que resolviere el problema de la longitud en la mar, que fue publicado en el tomo XXI (1852) de la *Colección de documentos inéditos para la Historia de España.*

La náutica en la España del siglo XVIII

El movimiento ilustrado, que vino acompañado de un fortalecimiento del Estado y de la Marina, trajo consigo nuevos aires a la náutica. Ello puede comprobarse directamente en la gran cantidad de bibliografía reciente dedicada a los asuntos más o menos directamente relacionados con la náutica y los métodos de navegación. El primer libro que hemos de comentar en este apartado es el titulado *Geografía y matemática en la España del siglo XVIII* (Barcelona, 1984), en el que su autor, el profesor Horacio Capel, dedica una parte importante de sus capítulos al estudio de los problemas relacionados con la navegación, la reforma de la Marina y la reestructuración de los estudios náuticos en el siglo de las luces.

De carácter más específico son los trabajos de Manuel A. Sellés sobre «Astronomía y navegación» y «La Academia y Observatorio de Marina», publicados en *Carlos III y la ciencia de la Ilustración* (Madrid, 1988), obra compilada por el propio Manuel A. Sellés, José Luis Peset y Antonio Lafuente. En el primero de ellos, el profesor Sellés estudia el proceso de transición del arte de navegar a la llamada navegación astronómica, caracterizada por la utilización de métodos científicos en las prácticas náuticas. El segundo de los trabajos, que analiza la institucionalización de la astronomía en la España del siglo XVIII, puede ser considerado como un avance de la obra escrita por Antonio Lafuente y Manuel A. Sellés sobre *El Observatorio de Cádiz (1753-1831)* (Madrid, 1988). Este libro, dedicado a la historia del primer observatorio astronómico instalado en España, comienza con unos capítulos introductorios dedicados a la astronomía y la náutica en el siglo XVIII y a la creación de la Academia de Guardias

Marinas de Cádiz, muy útiles para el estudio de la reorganización de la Marina española en el siglo XVIII y de la introducción en España de la navegación astronómica.

Las enseñanzas náuticas

Algunos temas tratados en nuestro trabajo, por su carácter específico, han necesitado la consulta de una bibliografía más concreta, como puede ser el caso de la evolución de las enseñanzas náuticas o de las expediciones científicas. Sobre las instituciones náuticas docentes, además de las obras ya citadas de los profesores Sellés y Lafuente, han sido manejados los artículos de Julio F. Guillén sobre «La enseñanza naval militar en España», publicado en los volúmenes 83 (1918) y 84 (1919) de la *Revista General de Marina*, y de Antonio Herrera García «Estudio histórico sobre el Real Colegio Seminario de San Telmo de Sevilla», publicado en los volúmenes XXVIII (1958) y XXIX (1958) de *Archivo Hispalense*, además del reciente trabajo de Antonio Lafuente y Manuel A. Sellés sobre «La formación de los pilotos en la España del siglo XVIII», publicado en la obra editada por José Luis Peset bajo el título de *La ciencia moderna y el nuevo mundo* (Madrid, 1985).

Las expediciones científicas del siglo XVIII

Las expediciones científicas auspiciadas por los gobiernos ilustrados, y protagonizadas en gran parte por los marinos, han sido tratadas con profundidad en los trabajos de Francisco de Solano sobre «Expediciones científicas a América durante el siglo XVIII», publicado en la obra conmemorativa titulada *La Expedición Malaspina 1789-1794* (Madrid, 1984), de Mercedes Palau Baquero sobre «Expediciones científicas en América en el siglo XVIII», publicado en *Astronomía y cartografía de los siglos XVIII y XIX* (Madrid, 1987), y de Salvador Bernabeu Albert sobre «Las expediciones hidrográficas», incluido en la obra ya citada anteriormente *Carlos III y la ciencia de la Ilustración* (Madrid, 1988). Sobre el caso concreto de la expedición de Alejandro Malaspina alrededor del mundo hemos consultado los trabajos de M.ª Dolores Higueras titulados *Catálogo crítico de los documentos de la Expedición Malaspina* (Madrid, 1985-1989), «Marina y ciencia en el siglo XVIII», publicado en el catálogo de la exposición sobre la *Real Expedición Botánica a Nueva España, 1787-1803*, y «El marino ilustrado y

las expediciones científicas», incluido en el número 2 (1989) de los *Cuadernos Monográficos del Instituto de Historia y Cultura Naval.*

Los instrumentos náuticos

Por último, terminaremos este breve repaso por la bibliografía haciendo referencia al tema de los instrumentos náuticos y su evolución técnica. Además de los datos extraídos de las obras de carácter general, hemos podido trabajar con el contenido de algunas obras que pasamos a comentar a continuación. De nuevo hemos recurrido a Salvador García Francos, que es el autor de un interesante catálogo comentado de los aparatos conservados en el Museo Naval de Madrid, titulado *Instrumentos náuticos en el Museo Naval* (Madrid, 1959), al que antecede una extensa introducción sobre el proceso de desarrollo histórico de los instrumentos utilizados por los navegantes, desde las primeras brújulas hasta los instrumentos meteorológicos. Algo parecido ocurre con su *Catálogo crítico de astrolabios existentes en España* (Madrid, 1945), que también va precedido por unas interesantes páginas sobre el origen, la historia y el uso de este tipo de instrumentos. Sobre la aguja náutica puede consultarse la obra *Historia y leyenda de la aguja náutica*, escrita por José M.ª Martínez-Hidalgo (Barcelona, 1946). También contienen datos muy interesantes los trabajos de Juan Vernet y J. A. Bennet titulados, respectivamente, «Instrumentos astronómicos (1250-1600)», publicado en el *Coloquio sobre historia de la ciencia hispano-americana* (Madrid, 1977), y *The divided circle: A history of instruments for astronomy, navigation and surveying* (Oxford, 1987), que dedica un capítulo a los orígenes de la navegación oceánica antes de centrarse en la ciencia de los siglos XVIII y XIX.



ÍNDICE ONOMÁSTICO



ÍNDICE TOPONÍMICO

Este libro se terminó de imprimir
en los talleres de Mateu Cromo Artes Gráficas, S. A.
en el mes de abril de 1992.







El libro *Astronomía y navegación en España. Siglos XVI-XVIII*, de Francisco José González, forma parte de la Colección «Mar y América», dirigida por el almirante Fernando de Bordejé, Director del Instituto de Historia y Cultura Naval, Madrid.

COLECCIÓN MAR Y AMÉRICA

- Tráfico de Indias y política oceánica.
- Armadas españolas de Indias.
- Astronomía y navegación en España. Siglos XVI-XVIII.
- El Pacífico ilustrado: del lago español a las grandes expediciones.

En preparación:

- La Marina española en la emancipación de Iberoamérica.
- Expansión holandesa en el Atlántico (1590-1800).
- El mar en la historia de América.
- Piratas y bucaneros.
- Las naves del Descubrimiento y sus hombres.
- España en la defensa del Mar del Sur.
- Cuatro siglos de cartografía en América.
- Expediciones españolas del siglo XVIII. El paso del Noroeste.
- Función y evolución del galeón para la Carrera de Indias.
- La Marina en el gobierno y administración de Indias.
- Navegantes portugueses.
- Navegantes franceses.
- Navegantes británicos.
- Navegantes italianos.
- Navegantes españoles.

DISEÑO GRÁFICO: JOSÉ CRESPO

La Fundación MAPFRE América, creada en 1988, tiene como objeto el desarrollo de actividades científicas y culturales que contribuyan a las siguientes finalidades de interés general:

Promoción del sentido de solidaridad entre los pueblos y culturas ibéricos y americanos y establecimiento entre ellos de vínculos de hermandad.

Defensa y divulgación del legado histórico, sociológico y documental de España, Portugal y países americanos en sus etapas pre y postcolombina.

Promoción de relaciones e intercambios culturales, técnicos y científicos entre España, Portugal y otros países europeos y los países americanos.

MAPFRE, con voluntad de estar presente institucional y culturalmente en América, ha promovido la Fundación MAPFRE América para devolver a la sociedad americana una parte de lo que de ésta ha recibido.

Las *Colecciones MAPFRE 1492,* de las que forma parte este volumen, son el principal proyecto editorial de la Fundación, integrado por más de 250 libros y en cuya realización han colaborado 330 historiadores de 40 países. Los diferentes títulos están relacionados con las efemérides de 1492: descubrimiento e historia de América, sus relaciones con diferentes países y etnias, y fin de la presencia de árabes y judíos en España. La dirección científica corresponde al profesor José Andrés-Gallego, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.



EDITORIAL
MAPFRE